



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Carla Adriana Sousa Costa

**Incorporação de Serrim em Argamassas
Cimentícias**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Civil

31 Outubro 2012



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Carla Adriana Sousa Costa

**Incorporação de Serrim em
Argamassas Cimentícias**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efectuado sob a orientação do

Professor Doutor Jorge Branco e

Professor Doutor Aires Camões

31 de Outubro 2012

Carla Adriana Sousa Costa

Endereço eletrónico: A51354@alunos.uminho.pt

Telefone: 912748937

Número de Bilhete de Identidade: 13421390

Título de Dissertação:

Incorporação de Serrim em Argamassas Cimentícias

Orientador:

Professor Doutor Jorge Branco

Coorientador :

Professor Doutor Aires Camões

Ano de Conclusão: 2012

Designação de mestrado:

Ciclo de Estudos Integrado em Engenharia Civil

Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia Civil

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA OS EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, 31 de Outubro de 2012

Assinatura:_____

AGRADECIMENTOS

Pela importância de não esquecer todo o apoio recebido ao longo do desenvolvimento deste trabalho e pela necessidade de reconhecer e enaltecer todos aqueles que das mais variadas formas me apoiaram e contribuíram para a execução deste trabalho aqui deixo o meu mais sincero agradecimento.

Aos professores e orientadores Professor Doutor Jorge Branco e Professor Doutor Aires Camões pela disponibilidade e paciência em auxiliar nos momentos de dúvida, e por orientar para na procura das melhores opções para a execução de um bom trabalho e também pela disponibilização de bibliografia auxiliar para o desenvolvimento do trabalho.

À empresa Flaviarte pela disponibilidade e disponibilização do resíduo.

Aos meus pais por toda a dedicação, carinho, compreensão e sacrifício para me darem a oportunidade de chegar até aqui.

Às minhas irmãs pela paciência compreensão nos momentos de maior tensão e carga de trabalho.

Ao Técnico de laboratório Carlos Jesus pela sua prontidão, boa disposição e disponibilidade em ajudar na concretização do trabalho.

Ao Técnico de laboratório Fernando Pokee pelo auxílio no laboratório.

A todos os colegas de laboratório que procuraram sempre motivar e dar palavras de força para o desenvolvimento dos trabalhos e também por tornarem as horas no laboratório mais agradáveis.

À minha colega e amiga Carla China que me motivava sempre para a concretização dos meus objetivos e que me acompanhou em grande parte durante estes anos de curso, pelo seu companheirismo e alegria, a ela agradeço com saudade.

Ao meu namorado pela disponibilidade em ouvir me e ter sempre um ombro amigo para me apoiar, pelos sacrifícios que fez para conseguir ajudar-me a concretizar esta etapa, pelo seu carinho e compreensão pela limitação do meu tempo devido à dedicação ao estudo.

A todos agradeço com carinho e uma muito obrigada por tudo!

RESUMO

A madeira é um material natural, disponível, acessível e renovável do qual se produz os mais variados elementos e produtos derivados para a construção. Nestes processos de transformação são produzidos diferentes tipos de resíduos, os quais, na sua grande maioria, dão origem a subprodutos, como é o caso do serrim.

Na indústria da construção o serrim pode ser utilizado, para o fabrico de materiais compósitos, nomeadamente compósitos madeira-cimento.

Neste estudo, procurou-se avaliar a exequibilidade da incorporação de serrim em argamassas e betões, bem como a influência de diferentes tipos de tratamento do serrim na compatibilidade deste com o ligante. De forma geral, a incorporação do serrim, independentemente do processo de tratamento testado, conduziu a uma diminuição significativa quer da resistência à flexão, quer da resistência à compressão. Dos processos de tratamento considerados, a mineralização do serrim e a lavagem com água fria, foram os que originaram os melhores resultados. No entanto, a globalidade dos resultados obtidos permitiu concluir não ser viável a incorporação de serrim em betões estruturais, pois a sua inclusão origina uma perda substancial das suas resistências mecânicas.

Assim, procurou-se uma nova possibilidade de aplicação do serrim e, numa segunda fase, procurou-se avaliar a viabilidade em utilizar o serrim na produção de uma argamassa leve, de enchimento, e, portanto, com exigências mecânicas muito mais modestas. Para o efeito, analisaram-se várias composições com diferentes percentagens de substituição de areia por serrim e distintas quantidades de cimento.

Após análise preliminar dos resultados obtidos, foram então seleccionadas duas composições para uma caracterização mais completa, verificando-se que estas apresentavam massas volúmicas de cerca de metade das argamassas convencionais, e resistências mecânicas adequadas para o campo de aplicação previsto. Neste contexto, concluiu-se que existe potencialidade para a aplicação prática deste tipo de argamassa leve com material de enchimento e regularização de pavimentos (betonilha).

Palavras-chave: madeira, subprodutos, compósitos, compósitos madeira-cimento, argamassas leves

ABSTRACT

Wood is a natural material, available, accessible and renewable resource which produces the most varied elements and products for construction. In these transformation processes are produced different types of waste, which, for the most part, give rise to by-products such as sawdust.

In the construction industry the sawdust can be used, for the manufacture of composite materials, especially wood-cement composites.

In this study, an attempt was made to assess the feasibility of incorporating dust in mortars and concrete, as well as to evaluate the influence of different types of treatment of sawdust on the compatibility of this with the binder. Moreover, the effect of the substitution of part of aggregates (sand) for dust was analyzed. In general, the incorporation of sawdust, regardless of the treatment process tested, has led to a significant decrease of flexural strength and compressive strength. The treatment processes considered - the mineralization of sawdust and wash with cold water - were the ones that gave rise to the best results. However, the whole of the obtained results allowed concluding that is not feasible the incorporation of sawdust in structural concrete, because its inclusion leads to a substantial loss of its mechanical resistance.

So, in a second stage, an alternative application of sawdust was assess through a feasibility study of using the dust in the production of a lighter mortar, and therefore with mechanical requirements more modest. For this purpose, several compositions were analyzed with different percentages of sawdust and with distinct cement replacement by dust.

After a preliminary analysis of the results obtained, were then selected two compositions for a more complete characterization, noting that these had densities of about half of conventional mortars, and adequate mechanical resistance for the scope intended. In this context, it was concluded that there is potential for the practical application of this type of mortar with lightweight cushioning material and regularization of floors (grouts).

Keywords: wood, by-products, wood-cement composites, composites, lightweight mortars

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	i
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações gerais	1
1.2. Objetivos do estudo.....	1
1.3. Organização da dissertação	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. A madeira	5
2.2. A matéria-prima – serradura ou serrim	9
2.3. A valorização do serrim	9
3. MATERIAIS E METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO	16
3.1 Materiais.....	16
3.1.1. Serrim.....	16
3.1.2 Agregados.....	24
3.1.3. Ligante.....	26
3.1.4. Água	27
3.1.5. Cloreto de cálcio.....	27
3.1.6. Cal	27
3.2 Metodologias.....	28
3.2.1. Trabalhos preliminares	28
3.2.2. Composições estudadas.....	35
3.2.3. Descrição de ensaios	40
4. RESULTADOS E ANÁLISE	54
4.1. Análise de resultados fase 1	54
4.1.1. Resultados de ensaio de espalhamento.....	54
4.1.2. Resultados e análise de ensaio de resistência à flexão	56
4.1.3. Resultados e análise de ensaio de resistência à compressão	58

4.2. Análise de resultados da fase 2	60
4.2.1. Resultados e análise de ensaio de espalhamento	61
4.2.2. Resultados e análise de ensaio de determinação do teor em ar	63
4.2.3. Resultados e análise de ensaio de determinação da massa volúmica fresca	64
4.2.4. Resultados e Análise de Ensaio de Determinação de Resistência à Compressão	65
4.3. Análise de resultados fase 3	69
4.3.1. Resultados e análise de ensaio de espalhamento	69
4.3.2. Resultados e Análise de Ensaio de Determinação do Teor de Ar	69
4.3.3. Resultados e Análise do Ensaio de Determinação da Massa Volúmica Fresca	70
4.3.4. Resultados e Análise de Ensaio de Determinação de Resistência à Compressão	71
4.3.5. Resultados e análise do ensaio de determinação de resistência à tração por compressão diametral.....	72
4.3.6. Resultados e Análise do Ensaio de Determinação da Massa Volúmica no Estado Endurecido	73
4.3.7. Resultados e análise do ensaio de determinação de absorção de água por imersão	74
4.3.8. Resultados e Análise do Ensaio de Determinação de Absorção de Água por Capilaridade	74
5. CONCLUSÕES.....	76
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
Documentos referenciados	80
Documentos normativos.....	81
Lista de Sites Consultados:	82
Anexo I- Resultados de Ensaio de Granulometria do Serrim.....	93
ANEXO II – Resultados Determinação da Massa Volúmica do Serrim.....	94
Anexo III- Resultados de Ensaio de Granulometria da Areia	95
Anexo IV- Registo de Dados Fase 1	96

Anexo V- Registo de Dados Fase 2	97
Anexos VI- Registo de Dados Fase 3.....	98
Anexos VII- Fichas técnicas do Cimento e Cal	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Matéria-prima: serrim	9
Figura 2- Tipos de fibras (Picanço 2005)	13
Figura 3- Serrim	16
Figura 4 - Peneiros utilizados no ensaio de granulometria.....	17
Figura 5 - Resultados de ensaios de granulometria do serrim.....	18
Figura 6 - Granulometria do serrim.....	19
Figura 7 - Partículas de madeira (serrim) separadas por granulometria.....	19
Figura 8 - Serrim conforme recebido	20
Figura 9 - Serrim Compactado	21
Figura 10 - Determinação de massa volúmica do serrim: enchimento do balão.....	22
Figura 11 - Areia	25
Figura 12 - Granulometria da areia.....	26
Figura 13 - Diferença volumétrica entre 1kg de areia e 1kg de serrim	26
Fig.- 14 Cloreto de Cálcio	27
Figura 15 - Serrim imerso em água fria.....	29
Figura 16 - Fases de lavagem do serrim em água fria.....	30
Figura 17 - Serrim mineralizado.....	31
Fig.- 18 Misturadora.....	40
Figura 19 - Provetes em cura húmida.....	41
Figura 20 - Equipamento de ensaio de resistência à flexão.....	42

Figura 21 - Esquema de posicionamento do provete (1) e provete colocado no mecanismo de ensaio (2)	43
Figura 22 - Equipamentos de ensaio de resistência à compressão: 1- Ensaio de metades de provetes 4x4x16 cm ³ ; 2-ensaio de provetes 5x5x5 cm ³	44
Figura 23 - Mesa de ensaio de espalhamento, molde e compactador metálico.....	45
Figura 24 - Medição de espalhamento de uma argamassa	46
Figura 25 - Argamassas com diferente trabalhabilidade	46
Figura 26 - Equipamento de determinação de teor de ar em argamassas no estado fresco.....	46
Figura 27 - Enchimento do recipiente de teste e compactação da argamassa	47
Figura 28 - Injeção de água e remoção do ar do interior do recipiente de teste	47
Figura 29 - Posicionamento do provete e faixas de cartão	50
Figura 30 - Examinação dos provetes fraturados	50
Figura 31 - Provetes impermeabilizados	52
Figura 32 - Resistência à flexão 7 dias de idade (MPa)	56
Figura 33 - Resistência à compressão aos 7 dias de idade (MPa)	58
Figura 39 - Segregação da argamassa.....	62
Figura 35 - Resistência estimada aos 28 dias de idade (MPa).....	65
Figura 36 - Variação da resistência à compressão em função da quantidade de cimento.....	67
Figura 37 - Variação da resistência à compressão em função do aumento de agregados substituídos por serrim	68
Figura 38 - Rotura de provete (1) e variação dimensional do provete devido à aplicação da carga (2).....	69
Figura 39 - Evolução da resistência mecânica (MPa) ao longo do tempo (dias)	71

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 -Exemplo de elementos de madeira usados na construção	7
Quadro - 2 Resultados de determinação da massa volúmica do serrim húmido	21
Quadro - 3 Resultados do ensaio de determinação de massa volúmica do serrim	23
Quadro - 4 Resultados finais de massa volúmica do serrim e absorção de água	23
Quadro - 5 Resumo de resultados de caracterização de massa volúmica e absorção de água do serrim	24
Quadro - 6 Humidade Relativa dos diferentes tipos de serrim.....	33
Quadro - 7 Composições estudadas na fase 1.....	36
Quadro - 8 Composições estudadas Fase 2	37
.Quadro - 9 Resultados de ensaio de espalhamento (mm) Fase 1	55
Quadro - 10 Resultados de ensaio de espalhamento fase 2 (mm)	61
Quadro - 11 Resultados de ensaio de determinação do teor em ar (%).....	63
Quadro - 12 Resultados de determinação da massa volúmica fresca e quantidade de cimento	64
Quadro - 13 Resistência à compressão aos 7 e 28 dias de idade	66
Quadro - 14 Resultados ensaio de espalhamento fase 3 (mm).....	69
Quadro - 15 Resultados de ensaio de teor de ar fase 3 (%).....	70
Quadro - 16 Determinação da massa volúmica no estado fresco (kg/m^3).....	70
Quadro - 17 Resultados de ensaio de resistência à tração por compressão diametral.....	72
Quadro - 18 Resultados de determinação da massa volúmica no estado endurecido.....	73
Quadro - 19 Resultados de determinação da absorção de água por imersão.....	74

Quadro - 20 Resultados de determinação absorção de água por capilaridade.....	74
---	----

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações gerais

Atualmente existem grandes preocupações com o meio ambiente e com a sustentabilidade do planeta. Esta procura por um desenvolvimento sustentável que garanta a existência de recursos para o desenvolvimento de gerações futuras tem motivado a procura de materiais de construção mais sustentáveis. Por outro lado é cada vez mais premente a necessidade de reduzir os resíduos gerados pelas mais diversas atividades ou revalorizá-los tornando-os subprodutos industriais de valor acrescentado.

Este estudo enquadra-se neste contexto, e surgiu do interesse de uma serração em valorizar um resíduo produzido, designadamente, o serrim. A mesma empresa possui também uma indústria de pré-fabricados de betão pelo que o estudo desenrola-se em volta de materiais compósitos madeira-cimento, mais concretamente no estudo de incorporação de serrim em betões e argamassas de cimento.

1.2. Objetivos do estudo

O objetivo principal do estudo é o de avaliar a influência da incorporação de serrim em argamassas e betões, através da substituição de parte dos agregados pelo serrim.

De forma a cumprir o objetivo acima descrito, o estudo desenvolvido foi dividido em quatro fases distintas. A primeira fase corresponde à etapa do estudo prévio, em que foram caracterizados os materiais a utilizar e foram executados alguns ensaios exploratórios de preparação e definição das fases subsequentes.

De seguida, realizaram-se ensaios de espalhamento, de resistência, à flexão e à compressão de argamassas aos 7 dias avaliando a influência da incorporação do serrim em diferentes percentagens (2 e 5%). O tipo de tratamento a aplicar ao serrim (lavagem com água fria, com água fervente ou com solução de cal, mineralização e adição de catalisador) e o tipo de cura (húmida por imersão em água ou em ambiente de temperatura e humidade controlada) foram, também, variáveis analisadas nesta fase.

Ensaio exploratórios permitiram concluir que a incorporação do serrim, independentemente do processo e tratamento testado, origina uma perda substancial das resistências mecânicas, inviabilizando a sua aplicação prática como material componente de betão estrutural.

Contudo, a constatação da diminuição da massa volúmica do compósito associada à inclusão do serrim, permitiu avançar para a avaliação da incorporação deste subproduto industrial em materiais não estruturais leves, como é o caso das betonilhas leves de enchimento e regularização de pavimentos, cujas exigências mecânicas são muito mais reduzidas.

Assim, numa terceira fase, foram estudadas várias composições de argamassas, procurando substituir a máxima percentagem de areia por serrim (com o objetivo de produzir um compósito o mais leve possível). Foram avaliadas 4 quantidades de cimento, assegurando uma resistência à compressão alvo de, aproximadamente, 1 MPa aos 28 dias, portanto semelhante a outras soluções deste tipo existentes no mercado. Com o objetivo de avaliar a potencialidade destas argamassas leves, realizaram-se ensaios de resistência à compressão aos 7 dias, de quantificação do teor de ar no estado fresco, de espalhamento e de quantificação da massa volúmica, também, no estado fresco.

Por fim, foram selecionadas duas composições, consideradas com maior potencial. Para estas, procedeu-se a uma caracterização mais exaustiva através de ensaios no estado fresco (determinação da massa volúmica, do teor de ar e do diâmetro de espalhamento), e, no estado endurecido (da massa volúmica, de ensaios de determinação de resistência à compressão e à tração por compressão diametral e determinação da absorção de água por imersão e, também, por capilaridade).

1.3. Organização da dissertação

Esta dissertação encontra-se organizada em 6 capítulos, sendo o primeiro a *Introdução* onde se faz um enquadramento do âmbito do trabalho bem como se descrevem os principais objetivos do mesmo, assim como a referência à forma como se encontra organizada a dissertação.

O capítulo 2, *Revisão Bibliográfica*, apresenta a síntese da informação relevante acerca do tema em estudo.

O capítulo 3, *Materiais e Metodologia de Investigação*, apresenta a descrição dos materiais utilizados bem como de todos os processos desenvolvidos ao longo dos trabalhos incluindo a descrição dos ensaios efetuados.

O capítulo 4, *Resultados e Análise*, apresenta a síntese dos resultados obtidos bem como uma análise crítica dos mesmos.

No capítulo 5, *Conclusões*, são apresentadas as principais conclusões da dissertação, bem como sugestões de desenvolvimentos futuros a explorar.

Por fim, no capítulo 6, *Referências Bibliográficas*, listam-se as fontes de informação e as referências usadas ao longo do documento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Atualmente existe uma grande consciencialização quanto às necessidades de sustentabilidade global. De acordo com o relatório Brundtland (1987), o desenvolvimento sustentável é aquele que procura satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades. Tal significa possibilitar que as pessoas, agora e no futuro, atinjam um nível satisfatório de desenvolvimento social e económico e de realização humana e cultural, fazendo, ao mesmo tempo, um uso razoável dos recursos da terra e preservando as espécies e os habitats naturais.

Para se atingir um desenvolvimento sustentável é, portanto, necessário promover a escolha de materiais mais sustentáveis, a exploração racional de recursos e torna-se muito importante, também, o estudo de formas de aproveitamento dos resíduos resultantes das mais diversas atividades, de forma a acrescentar valor a estes produtos, resultando na transformação de resíduos em subprodutos industriais. A sustentabilidade implica a redução de desperdícios de recursos pelo que a descoberta de potencialidades de materiais considerados como resíduos permite acrescentar-lhes valor e reduzir as quantidades destes recursos que são perdidos ou enviados para tratamento, reduzindo, também, os encargos resultantes desta tarefa e as implicações ambientais que daí podem advir.

Na década de noventa o conceito de *green building* (ou edifício verde) tornou-se mais conhecido pelo público sensibilizando-o a estar mais atento aos potenciais benefícios ambientais do uso de materiais como a madeira, em alternativa a materiais convencionais mais poluentes.

A adoção de edifícios verdes resulta na redução de consumos de energia do edifício e na redução de impactos negativos na saúde humana. A escolha de materiais com atributos ambientais positivos facilita esta procura. A madeira é um material que apresenta várias características positivas neste campo, incluindo a baixa energia incorporada, baixo impacto a

nível de carbono, sendo um material natural cuja cultura pode ser sustentável (Forest Products Laboratory, 2010).

2.1. A madeira

A madeira é o conjunto de tecidos que formam o tronco, os ramos e as raízes de plantas lenhosas (Carvalho 1996).

É um material natural, orgânico e complexo, que compõe a parte principal do tronco, ramos e raízes da maioria das plantas lenhosas, ou árvores (Michaelis, 2009).

As características da madeira como densidade, durabilidade, estabilidade, resistência elétrica, propriedades acústicas, resistência ao impacto, trabalhabilidade e aspeto podem variar significativamente de acordo com a espécie da árvore que a originou (Farm Forest line, 2009).

A estrutura celular da madeira é constituída essencialmente por celulose como componente estrutural e, polioses e lenhina como componentes subestruturais (Klock *et al.*, 2005).

Caracteriza-se por absorver, ou libertar facilmente água (higroscopia), de procurando o equilíbrio com a humidade do ambiente que a rodeia, e por apresentar propriedades físicas diferentes consoante a orientação espacial (ortotropia) (Society of wood Science and Technology, n.d., Carvalho, 1997, Brown, n.d., Klock *et al.*, 2005).

Em termos botânicos, as árvores são de famílias de duas principais classes, as coníferas e as dicotiledóneas, que pertencem às subdivisões de Gimnospérmicas e Angiospérmicas, vulgarmente designadas por Resinosas e Folhosas (Carvalho, 1997).

A madeira é constituída por tecido lenhoso, sendo que este é formado por células lenhosas bem organizadas com funções vitais como transporte de líquidos seivosos, de suporte de uma estrutura forte, submetida a grandes solicitações mecânicas, e o armazenamento de produtos de reserva, de atividade metabólica ou de secreção muito importantes (Carvalho, 1997).

Os principais constituintes do tecido lenhoso são a celulose que contribui para a resistência à tração, pelo facto de ser uma substância esquelética. E a hemicelulose, admitindo-se que este componente serve de matriz temporária antes da lenhificação. Por fim, a lenhina é outro constituinte cuja função é conferir rigidez à madeira e contribuir de forma significativa para a

durabilidade da substância lenhosa (Carvalho, 1996). De acordo com Torgal *et al.*, (2009) a celulose é um polímero natural composto por moléculas de glucose e a hemicelulose, é um polímero composto por vários polissacarídeos e a lenhina é uma mistura heterogénea de polímeros aromáticos e monómeros de fenilpropano.

Existe particular interesse neste estudo, como se verá mais à frente, na madeira de Pinho bravo. Este tipo de madeira resinosa caracteriza-se por ser uma madeira macia, clara e abundante em Portugal. Tem cor clara, avermelhada ou castanho-avermelhada (Carvalho, 2007, Dicaf 2009), apresenta nós, é durável, pouco flexível e pode ter as mais diversas aplicações como postes, cofragens, aglomerados, carpintarias, mobiliários, entre outros (Dicaf, 2009).

Este tipo de madeira apresenta valores da massa volúmica entre 500 a 700 kg/m³ (Reis, *et al.*, 2010), sendo indicado por Carvalho (2007) que a massa volúmica deste tipo de madeira é em geral de cerca de 640 kg/m³.

As propriedades da madeira podem variar de acordo com vários fatores, como aspetos biológicos como a própria espécie da árvore em causa, ou por fatores do meio ambiente, como, por exemplo, a humidade do meio envolvente.

Segundo Santos (2007) é muito importante a determinação do teor de água da madeira pela sua influência nas propriedades físicas desta, como a massa volúmica e a variação dimensional, mas também com as características mecânicas da mesma. Segundo Costa (2011), propriedades como flexão, compressão, dureza e corte, melhoram com a diminuição da presença de água na madeira e, portanto, conclui-se que um aumento do teor de água na madeira leva a uma diminuição do desempenho das suas propriedades mecânicas.

As estruturas de madeira existem desde os primeiros tempos de vida do homem. A madeira como é um material leve, resistente, fácil de trabalhar e abundante na natureza tornou possível ao homem abandonar a caverna, construindo cabanas que lhe serviriam de abrigo (Dicaf, 2008).

Segundo dados sectoriais publicados pela Associação de Indústrias de Madeiras e Mobiliário de Portugal (AIMMP), em 2009 o cluster florestal em Portugal representava 4% do PIB nacional e 14% do PIB industrial, pelo que se conclui que as indústrias da fileira da madeira

têm grande importância na economia nacional (AIMMP, 2009). O sector da madeira e mobiliário engloba duas divisões que são a da indústria de madeira e a divisão do mobiliário.

Segundo dados do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI, 2000) a indústria de madeira pode ser dividida em subclasses, segundo o DL 182/93 de 14 de Maio, e de acordo com as diferentes atividades que se desenvolvem neste sector, essas subclasses são a serração de madeira, impregnação de madeira, fabrico de painéis de partículas de madeira, fabrico de painéis de fibra de madeira, fabrico de folheados contraplacados, lamelados e outros painéis, parqueteria, carpintaria, fabrico de embalagens de madeira, fabrico de caixões mortuários e fabrico de outras obras em madeira.

Atualmente, o mercado de madeiras e produtos derivados da mesma oferece uma grande diversidade de produtos para a construção. Os materiais mais usados na construção podem ser divididos em quatro categorias: elementos roliços, serrados, laminados e cavacos e resíduos (Jaako Pöyry *in* Roque e Valença, 1998). O Quadro1 resume grande parte dos materiais resultantes da madeira, quer de forma direta ou através de derivados da mesma.

Quadro 1 -Exemplo de elementos de madeira usados na construção

<u>Categorias</u>	<u>Produtos</u>	<u>Subprodutos</u>
Roliços:	Estacas Mourões Escoras	
Serrados: Pranchas Tábuas Ripas Caibros Sarrafos	Molduras Apainelados Painéis sólidos Parquet Tacos	Sarrafado paralelo Sarrafado Cónico
Laminados: Fraqueado Desenrolado	Componentes Chapas de compensado(ou contraplacado) Revestimentos	Compensado laminado (decorativo, concreto, industrial, naval e uso geral) Compensado com miolo(sarrafado, celular e composto) LVL (laminated veneer lumber)
Cavacos e Resíduos: Chips Flakes Casca Serrim Refugos	Chapas de aglomerado Chapas de fibra	Chapas de aglomerado Chapas finas de aglomerado Chapas de partículas largas Chapas de partículas com cimento OSB Chapas duras(MDF, Padrão e temperadas) Chapas leves(impregnadas com betumes)

Os usos mais correntes de produtos de madeira na construção são: sistemas estruturais, sendo comuns sistemas estruturais de coberturas; elementos para divisórias como é o caso de alguns tipos de painéis; uso em pavimentos (parquet e tacos); uso para fabrico de cofragem e elementos de suporte (escoras); uso em fundações (estacas); e uso em revestimentos.

Na indústria da madeira é gerada anualmente uma grande quantidade de resíduos de madeira que na sua maioria são valorizáveis em várias utilizações como aquecimento, matérias-primas para a indústria de aglomerados e contraplacados, agrícola, florestal, avícola e pecuária. Uma vez que temos diversas atividades dentro do sector da indústria de madeira é perceptível que os resíduos gerados pela mesma também sejam variados, variando o tipo de resíduos bem como as quantidades geradas de atividade para atividade (INETI 2000).

No processo de serração das madeiras os principais resíduos gerados são costaneiras, casca, aparas (fitas ou tiras), serrim e restos de madeira nas proporções de 33, 23, 23, 14 e 7% segundo dados do INETI (2000).

No caso particular da carpintaria há a distribuição das seguintes quantidades percentuais de resíduos: 35% de aparas de madeira, 23% de resíduos de madeira não maciça, 23% outros resíduos de madeira e 19% de serrim (INETI, 2000)

A valorização destes resíduos permite às empresas que os geram reduzir custos com o seu armazenamento, manuseamento, transporte, tratamento e/ou deposição e aproveitar valor que de outra forma seria desperdiçado (AIMMP, 2007).

O destino a dar aos resíduos depende do seu tipo. A casca pode ser valorizada como material para uso em compostagem, fertilizante, ou decoração de jardins ou valorizada energeticamente pelo seu uso para a obtenção de calor. O serrim, aparas e costaneiras podem ser valorizados como material para a agricultura e pecuária, valorizados energeticamente, ou reutilizados/reciclados para o fabrico de derivados de madeiras como painéis de aglomerado, pasta de papel ou briquetes (AIMMP, 2007).

Neste trabalho tem particular interesse a transformação de resíduos de madeira, nomeadamente serrim, em subproduto, ou matéria-prima secundária, para aplicação em produtos de matriz cimentícia.

2.2. A matéria-prima – serradura ou serrim

O resíduo de madeira disponibilizado para o presente trabalho é a serradura, ou serrim, de madeira de Pinho bravo (*Pinus pinaster*).

O serrim é um resíduo gerado no processo de serragem. É geralmente constituído por pequenas aparas ou lascas de madeira e pó ou fibras de madeira. Na figura 1 apresenta-se o aspeto geral do serrim de *Pinus pinaster*, utilizado neste estudo.



Figura 1- Matéria-prima: serrim

Este tipo de resíduo, para além das aplicações mencionadas anteriormente, pode ser também utilizado para a aplicação em produtos de matriz cimentícia, na forma de fibras em painéis madeira-cimento, ou na substituição de agregados em betões e argamassas. O objetivo passa pela valorização deste resíduo, e o aproveitamento das propriedades da matéria que lhe deu origem, a madeira, como a leveza, baixa condutibilidade térmica e acústica, entre outras, associando-as às propriedades do cimento, como a resistência a ataques biológicos e a resistência ao fogo entre outras.

2.3. A valorização do serrim

A valorização do serrim leva a que este possa ser considerado como subproduto industrial desde que esteja isento de qualquer contaminante, seja resultante de madeira não submetida ainda a qualquer utilização, seja sujeito a um circuito comercial e económico definido e desde que seja usado diretamente como matéria-prima (INETI, 2000).

Relativamente ao comportamento de produtos de matriz cimentícia com fibras de madeira existem vários autores que referem a existência de fenómenos de incompatibilidade entre estes dois materiais que levam ao aumento do tempo de presa e retardamento do endurecimento do cimento (Pimentel, 2000).

Jorge *et al* (2004) indica que a compatibilidade entre a madeira e o cimento se refere ao grau de interferência das partículas de madeira no endurecimento do cimento. De forma geral, se o processo de endurecimento do material cimentício não for perturbado ou for apenas levemente perturbado, é possível afirmar que o cimento e a madeira são compatíveis. Por outro lado, se o endurecimento do cimento for comprometido pela presença da madeira, estes materiais são considerados incompatíveis.

O fenómeno de incompatibilidade é expresso pela redução das propriedades físicas do compósito madeira-cimento e, em último caso, leva à obtenção de amostras sem integridade física (Jorge *et al*, 2004).

Alguns autores referem que esta incompatibilidade se deve à possibilidade da presença de substâncias solúveis em água e meios alcalinos (Wei *et al* 2000a) e açúcares solúveis em água que retardam a hidratação do cimento (Bilba *et al*, 2000, Aro 2008, Wei *et al* 2000a, Simatupang, 1989). Outros referem que a utilização de fibras vegetais em matrizes cimentícias é acompanhada pela libertação de compostos ácidos que atrasam o tempo de presa, (Savastano *et al*, 2000, Wei *et al* 2000a), podendo para além de retardar a presa do cimento, atacar e destruir a matriz cimentícia (Wei *et al* 2000a). Segundo Torgal *et al* (2009) a presença de fibras vegetais pode provocar um aumento do tempo de presa de até 45 minutos. De acordo com os mesmos autores, este fenómeno pode explicar-se pela possibilidade de um polímero natural, designado pectina, presente nas fibras, reagir com o cálcio impedindo a formação de silicatos de cálcio hidratados (CSH) (Torgal *et al*, 2009).

Para além destes problemas de compatibilidade, alguns autores referem a existência de problemas de durabilidade destes materiais compósitos associados à degradação das fibras quando imersas na pasta de cimento devido ao ambiente de elevada alcalinidade que dissolve as fases de lenhina e a hemicelulose enfraquecendo a estrutura fibrosa (Torgal *et al*, 2009; Savastano *et al*, 2000).

A compatibilidade entre as partículas de madeira e o cimento pode ser melhorada através do revestimento das fibras ou partículas com produtos hidrófugos como silicato de sódio, sulfito de sódio ou sulfato de magnésio. Este método permite, também, melhorar a durabilidade das partículas e, consequentemente, do compósito (Torgal *et al*, 2009). É, também, possível recorrer à adição de aceleradores de presa como cloreto de cálcio (CaCl_2), cloreto de magnésio (MgCl_2), sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) (Wei *et al* 2000a; Wei *et al*, 2000b; Simatupang 1989), mistura de sulfato de alumínio e hidróxido de cálcio ou silicato de sódio, silicato de sódio, fluoreto de sódio (Simatupang, 1989).

Lança (P., n.d.) indica que a utilização de cloreto de cálcio e de sódio em quantidades inferiores a 1% do ligante funcionam como retardadores de presa, no entanto em quantidades superiores a 2% funcionam como aceleradores de presa.

A redução da compatibilidade das partículas de madeira pode ainda ser feita pela remoção das substâncias da madeira por imersão das fibras em soluções aquosas, (Beraldo *et al*, 2002 *apud* Mori *et al*, 2007; Simatupang, 1989) e por processo de *pulping* ou imersão das fibras em água quente (Savastano *et al*, 2003).

Para combater a degradação das partículas de madeira devido à alcalinidade da matriz cimentícia e melhorar a compatibilidade, pode proceder-se, para além do tratamento das fibras, à alteração do ligante, nomeadamente, recorrendo à incorporação de cinzas de casca de arroz, cinzas volantes, escórias ou sílica de fumo ou usar cimento de endurecimento rápido (Gutiérrez *et al* 2005; Simatupang, 1987 *apud* Simatupang, 1989).

O painel madeira-cimento, como é o caso do painel VIROC®, é um exemplo de um possível compósito madeira-cimento, que poderia servir para escoar este subproduto (serrim). Estes painéis podem ter várias configurações, desde o painel de betão com incorporação de partículas de madeira, ao painel de lã de madeira impregnada com cimento, sem esquecer painéis resultantes da combinação dos dois materiais (mistos).

O painel madeira-cimento, em comparação com os tradicionais painéis derivados de madeira que usam adesivos sintéticos, apresenta maior resistência ao fogo, a fungos e insetos, para além de bom comportamento acústico e boa resistência a intempéries (Aro, 2008)

Os painéis aglomerados de madeira-cimento, ou *cement-bonded particleboard* (CBPB), surgiram em 1970 com o objetivo de substituir os painéis contendo amianto (Aro, 2008). São um produto de alta densidade, constituídos por cimento Portland ou à base de magnésio, e partículas de madeira. A grande diferença deste tipo de painel para os painéis usuais de partículas de madeira é o facto de a coesão ser assegurada por um ligante inorgânico (Machado, 2005), o que leva a que o tempo necessário para o endurecimento do painel seja mais longo: 8 a 24h para o cimento Portland, 4 a 6 horas para o cimento à base de magnésio e 15 a 30 minutos para o Gesso à temperatura ambiente (Simatupang, 1989).

O processo produtivo deste tipo de painel consiste, basicamente, em misturar as partículas de madeira com cimento, água, aditivos e adjuvantes. Posteriormente, é espalhada a mistura formando um colchão que é submetido a prensagem. Depois de endurecido, e submetido a um processo de maturação e secagem é feito o acabamento obtendo-se assim o painel CBPB (Machado, 2005).

Existem grandes vantagens no que diz respeito ao comportamento ao fogo e à durabilidade biológica (Machado, 2005; Simatupang, 1989). Relativamente à permeabilidade à água, apresenta também resistência à degradação devido a ciclos de molhagem e secagem e ataques gelo-degelo (Pimentel, 2000), boa trabalhabilidade, bom comportamento e isolamento térmico, entre $0,35 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ de condutibilidade térmica, de acordo com Simatupang (1989), e acústico, baixo custo e facilidade de ser produzido (Aro, 2008) quando comparados com outros painéis derivados de madeira.

As utilizações mais comuns do CBPB são em painéis antirruído, revestimentos de fachadas, forros, pisos e blocos não estruturais (Pimentel, 2000, Aro, 2008), bem como, decoração de interiores em tetos, coberturas (Viroc, 2010) e como cofragem perdida (Viroc, 2010, Aro, 2008).

O serrim pode ainda ser utilizado para a incorporação em argamassas, como substituto dos agregados, ou como reforço das mesmas.

Este tipo de argamassas enquadra-se no contexto de materiais não convencionais para a construção, mais concretamente argamassas reforçadas com fibras.

As fibras podem ser de vários tipos como indica Picanço (2005), sendo que o serrim se enquadra nas fibras naturais vegetais(Figura 2):

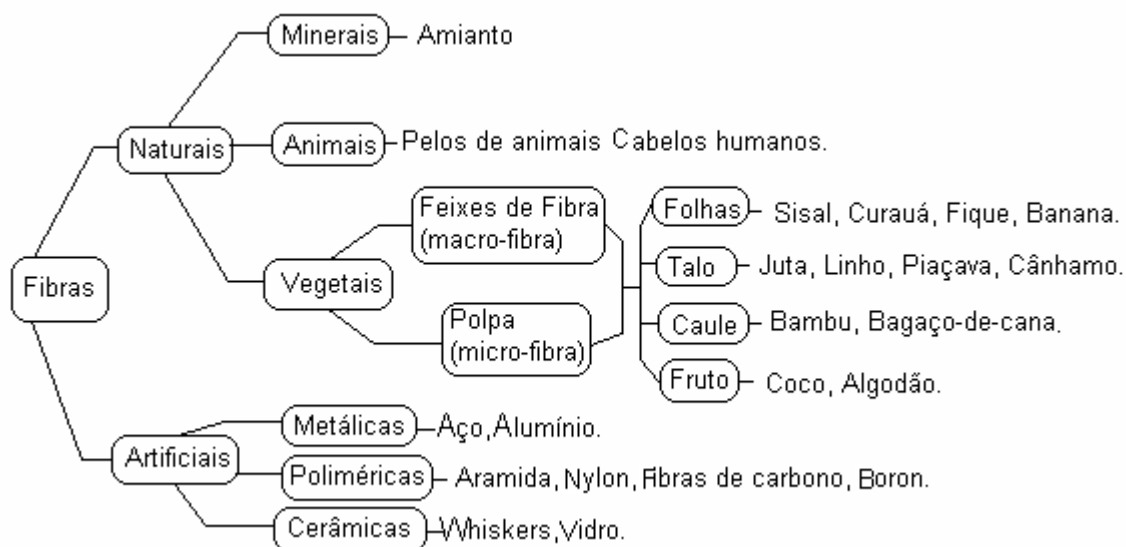


Figura 2- Tipos de fibras (Picanço 2005)

A utilização de fibras naturais vegetais não é recente. Nos tempos antigos, cerca de 1500 a.C., egípcios e israelitas usavam fibras vegetais, como palha para o fabrico de tijolos de barro (Ventura, 2009).

Nos últimos anos surgiram vários estudos acerca da viabilidade da utilização de fibras vegetais no reforço de produtos de matriz cimentícia. As vantagens apontadas são a sua abundância e baixo custo, pouca energia incorporada, baixa densidade, o facto de não serem prejudiciais à saúde. No entanto, as fibras naturais vegetais apresentam baixa durabilidade, grande variabilidade de propriedades, e fraca adesão no estado natural a algumas matrizes (Silva, 2004).

De acordo com Izquierdo (2011), a adição de fibras de vegetais de sisal como reforço de blocos de betão, para alvenaria, permitiu obter resistências à compressão muito próximas ou superiores aos blocos sem este reforço, mas obtendo-se melhorias ao nível da ductilidade e capacidade de deformação devido à atuação das fibras.

Existem outros estudos acerca da utilização de fibras de carauá que indicam que este tipo de fibra vegetal é adequado como reforço de matrizes cimentícias, conferindo uma maior ductilidade e resistência após a fissuração (Picanço *et al*, 2008). É, ainda evidenciado este ganho das propriedades de ductilidade com o reforço de matrizes frágeis de cimento Portland com fibras vegetais por estudos feitos por Savastano Junior *et al* (2000).

Relativamente à incorporação de fibras de madeira em misturas cimentícias como argamassas, são escassos os estudos encontrados ao longo desta pesquisa.

Este tipo de argamassas é constituído por partículas de madeira, que tem como função baixar a densidade da mistura, melhorar propriedades como resistência à flexão, isolamento térmico e acústico. Nestas, o cimento funciona como ligante que confere resistência à amassadura, a água é crucial para a hidratação do cimento, e podem ser usados adjuvantes, com o objetivo de reduzir os fenómenos de incompatibilidade (Gazola, 2007).

De acordo com Gazola (2007), é possível obter-se argamassas com elevada densidade usando pó de madeira ou argamassas de baixa densidade usando serrim, sendo que estas últimas podem ser usadas em elementos de revestimento ou alvenarias sem função estrutural. Este processo de fabrico de argamassas permite ainda obter argamassas mais leves, diminuindo os custos com elementos da estrutura, melhoria das propriedades térmicas da argamassa devido à presença da madeira, diminuição da necessidade dos agregados, diminuindo os custos de produção e o reaproveitamento de um subproduto industrial.

Este tipo de material alia as boas características da madeira, como a baixa densidade, capacidade isolante térmico-acústica e resistência à tração, e do cimento, como a resistência a agentes biológicos, à humidade e à combustão (Gazola, 2007).

Estudos feitos pela mesma autora, Gazola, (2007), permitiram concluir que a substituição de areia por partículas de madeira, trás grandes benefícios para o meio ambiente, por contemplar a substituição de uma matéria-prima não renovável, contribuindo ao mesmo tempo para a reciclagem das mesmas, com uma boa relação custo-benefício. A substituição da areia por partículas de madeira permitiu reduzir a massa volúmica das amostras, com um máximo de cerca de 52,6% para a substituição total da areia. No entanto, provocou também um decréscimo da resistência à compressão, com valores por exemplo de cerca de 3,5 MPa, para

substituição de 50% da areia, sendo este valor cerca de 22,4% do valor registado na amostra sem serrim, e 36% de redução da massa volúmica.

Estes resultados evidenciam a potencialidade deste tipo de compósito no fabrico de misturas cimentícias de baixa densidade, sem requisitos estruturais, nomeadamente no fabrico de argamassas leves.

As argamassas leves são caracterizadas por possuírem uma massa volúmica menor que uma argamassa normal, que segundo Correia dos Reis *et al*, (2010) anda à volta de 2000 a 2200 kg/m³. Esta redução na massa volúmica é conseguida fazendo com que parte do seu volume seja ocupado por materiais de baixa densidade, ou mesmo por espaços vazios (Sousa, 2010). Este tipo de argamassas apresenta vantagens ao nível do isolamento térmico e acústico, dependendo do tipo de sistema utilizado para o seu aligeiramento, sendo utilizadas sem incremento de peso significativo à estrutura e são normalmente utilizadas para enchimento e regularização de pavimentos.

As quantidades de cimento utilizadas em algumas destas argamassas variam, em geral, entre os 200 e os 300 kg/m³, sendo que as resistências mecânicas podem variar de acordo com as quantidades de cimento. Sendo que, aos 28 dias, em estudos efetuados por Jalali (1999), e Camões (2003) verificou-se uma variação entre 0,23 e 1,32 MPa.

3. MATERIAIS E METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

Neste capítulo é apresentada uma descrição dos materiais utilizados, bem como dos processos envolvido na execução dos ensaios laboratoriais, incluindo a descrição dos mesmos. Para além disso, serão, também, apresentados, à medida que se vão descrevendo os processos e ensaios, os equipamentos utilizados ao longo dos respetivos trabalhos.

3.1 Materiais

Este trabalho tem como material principal o serrim seguindo-se o ligante, os agregados e a água, para além disso foi também usada uma pequena quantidade de cal e cloreto de cálcio.

3.1.1. Serrim

O serrim utilizado foi fornecido pela empresa Flaviarte, e é o resultado de processos de serragem de madeira. Caracteriza-se por ser uma mistura de partículas de madeira de vários tamanhos, desde fitas de madeira a pó de madeira, ou seja uma mistura heterogénea de partículas de madeira de pinho, como se pode ver na Figura 3.



Figura 3- Serrim

A sua granulometria foi determinada segundo a Norma NP EN 933-1, cujo procedimento é o seguinte:

- 1) Procedeu-se à secagem do serrim em estufa a cerca de $100 \pm 5^\circ\text{C}$, sendo posteriormente retirado da estufa e acondicionado numa caixa fechada com tampa, para evitar absorção de humidade do meio ambiente;
- 2) Deixou-se o serrim arrefecer. Posteriormente, tomou-se a amostra pesou-se numa balança com precisão de $\pm 0,01\%$ da massa da amostra do serrim, registando-se o valor como M_1 .

Foi utilizada uma balança mais precisa do que a indicada na norma uma vez que o serrim é um material muito leve, e pequenas diferenças de peso podem significar grandes variações de resultados, o que não acontece com agregados mais pesados.

- 3) Depositou-se a amostra seca na coluna de peneiros, organizados de cima para baixo por ordem decrescente, sendo o de maior abertura de 16 mm e o menor de 0,063 mm, e com o fundo e a tampa.



Figura 4 - Peneiros utilizados no ensaio de granulometria

- 4) Agitou-se a coluna de peneiros manualmente, retirando-se depois os peneiros um a um, a começar pelo de maior abertura, e agitando o mesmo mas garantindo que não existe perda de material, utilizando a tampa e o fundo;
- 5) Transferiu-se todo o material que passou em cada peneiro para o peneiro seguinte, continuando a peneiração;

- 6) Pesou-se o material retido em cada peneiro começando pelo peneiro com a maior abertura, registrando os valores com R1, ...R9, e o material retido no fundo como P;
- 7) Registaram-se as várias massas no relatório de ensaios. Calculando-se a massa retida em cada peneiro como percentagem da massa original seca (M_1);
- 8) Calculou-se a percentagem cumulativa de massa original seca que passa através de cada peneiro até ao peneiro de 63 μm de abertura de malha (M_2), excluindo este;
- 9) Determinou-se a percentagem de finos (f) que passa no peneiro de 63 μm de acordo com a expressão:

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 \quad (1)$$

O procedimento foi repetido em três ensaios, sendo os resultados resumidos no seguinte gráfico.

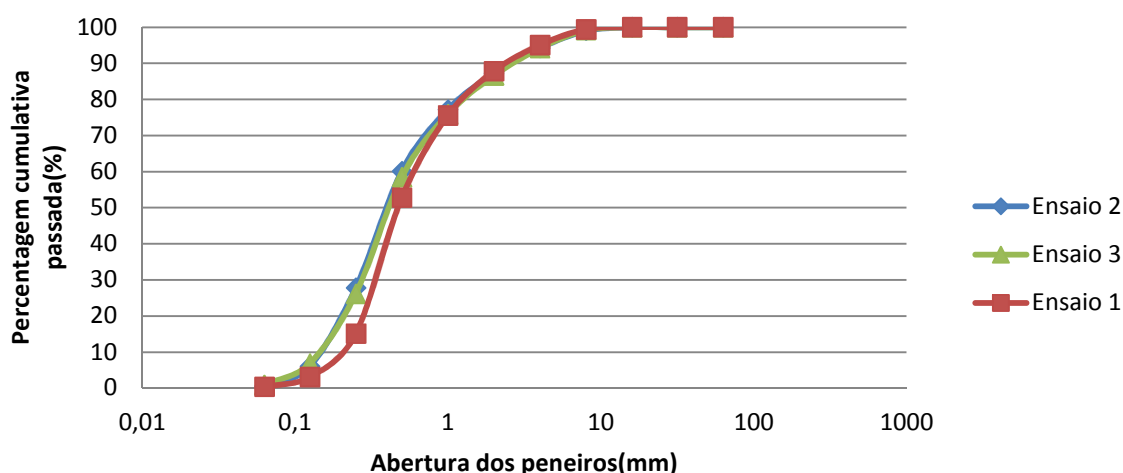


Figura 5 - Resultados de ensaios de granulometria do serrim

Por observação da Figura 5 verifica-se que as curvas dos três ensaios encontram-se muito próximas, existindo apenas uma dispersão ao nível do peneiro 0,25 mm, pouco significativa, pelo que o resultado final da granulometria foi obtido pela média dos três ensaios.

O serrim apresenta então a granulometria apresentada na Figura 6, na qual é possível ver na Figura 6 que as partículas de serrim têm dimensões menores que 16mm, sendo que apenas a partir do peneiro de 8mm estas começam a ficar retidas. A maioria das partículas encontra-se

com dimensões entre os peneiros de 1mm e 0,125 mm, a massa retida entre estes peneiros representa 87,3% da massa total. A maior quantidade de partículas retidas verificou-se no peneiro de 0,25 mm, com 34,3% da massa total. A dimensão média das partículas é cerca de 45 μ m e a percentagem média de finos dos ensaios foi de 0,58%.

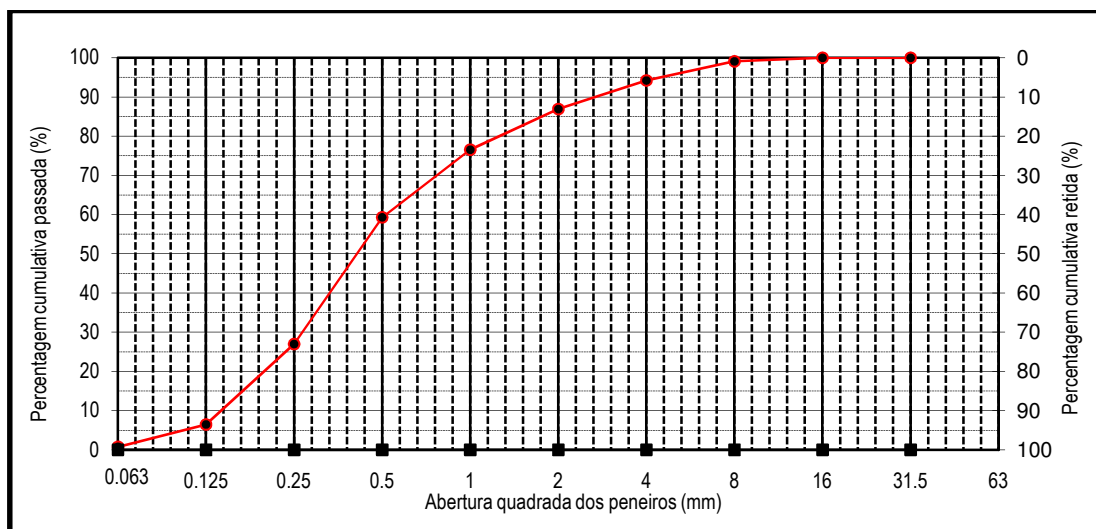


Figura 6 - Granulometria do serrim

A imagem seguinte mostra a distribuição do serrim por peneiro.



Figura 7 - Partículas de madeira (serrim) separadas por granulometria

O serrim, uma vez que é constituído por partículas de madeira, absorve facilmente a água, pelo foi determinada a sua humidade relativa conforme recebido da serração.

A humidade relativa foi determinada através da pesagem de uma amostra de serrim com 81,9g, que se colocou em estufa a 105 ± 5 °C, e foram-se efetuando pesagens até o peso estabilizar. O peso final da amostra foi de 51 g, pelo que a humidade presente na amostra foi de 37,8%. No entanto, verificou-se que a humidade não era constante em todo o serrim, uma

vez que existiam partes de serrim muito húmidas, algumas até agregadas, e outras mais secas tal como mostra a Figura 8.



Figura 8 - Serrim conforme recebido

A massa volúmica aparente deste material foi determinada usando um recipiente cujo volume se calculou previamente através do seguinte processo, pesou-se e fez-se a taragem do recipiente, encheu-se de água, cujo peso total é de 960,98 g, tirou-se a água, secou-se o recipiente e voltou-se a fazer a taragem e encheu-se o recipiente com serrim seco; pesou-se resultando em 163,49 g.

Através da seguinte equação:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2)$$

Em que, ρ é a massa volúmica em kg/m^3 , M é a massa em kg, e V é o volume em m^3 .

Resulta assim numa massa volúmica aparente de $174,1 \text{ kg/m}^3$ do serrim normal.

Como se verá mais à frente, é relevante caracterizar o serrim que sofrerá um processo de tratamento através de lavagem com água fria, processo que será descrito, também, mais à frente, pelo que da mesma forma se determinou a massa volúmica aparente do mesmo, apresentando-se de seguida os resultados.

Peso do serrim lavado seco no recipiente = 139,7 g

Massa volúmica do serrim lavado = $144,2 \text{ kg/m}^3$

Pode verificar-se que a massa volúmica deste serrim é cerca de 17% menor que a do serrim normal, isto é conforme recebido da fábrica.

Procedeu-se, também, à determinação da massa volúmica do serrim lavado húmido, com cerca de 75% de humidade relativa, efetuou-se o enchimento do mesmo recipiente de volume conhecido, comprimindo previamente o serrim de forma que este ficasse húmido mas sem humidade em excesso, uma vez que para o serrim não é possível que tenhamos as partículas saturadas com superfície seca já que é um material que absorve ou liberta muito facilmente a humidade para o meio que o envolve. Este enchimento foi também acompanhado de compactação manual, tentando-se compactar o material ao máximo. De seguida pesou-se o recipiente cheio de serrim, retirando-se o peso do recipiente e obteve-se a massa volúmica aproximadamente real do serrim húmido, dado que esta é função da compactação.



Figura 9 - Serrim Compactado

Através da equação 2, obteve-se então a massa volúmica aparente do serrim húmido, sendo que os resultados obtidos são apresentados no Quadro - 2:

Quadro - 2 Resultados de determinação da massa volúmica do serrim húmido

Ensaio	Massa serrim húmido (kg)	Volume (m ³)	Massa volúmica serrim húmido (kg/m ³)	Massa volúmica média do serrim húmido (kg/m ³)
1	0,989	$9,7 \times 10^{-4}$	1021,1	1014,9
2	0,985		1016,7	
3	0,98		1006,8	

A massa volúmica aparente média do serrim húmido é de cerca de $1014,9 \text{ kg/ m}^3$, segundo este ensaio.

Foi também determinada a massa volúmica real, tendo por base a Norma NP-954, procedendo-se à realização de 3 ensaios, sendo que o resultado corresponde à média destes três ensaios.

O procedimento de ensaio adotado foi o seguinte:

- 1) Procedeu-se à compressão do serrim, por prensagem, de forma a eliminar a água em excesso;
- 2) Encheu-se um balão com 100 ml de água até ao traço de referência e pesou-se o mesmo, recorrendo à balança 1 (precisão 0,01%), registando o valor. Enxugou-se o balão cuidadosamente e registou-se a sua massa (m_4);
- 3) Introduziu-se uma amostra de serrim no balão, ficando o mesmo com o aspeto da Figura 10 - Determinação de massa volúmica do serrim: enchimento do balão Figura 10;



Figura 10 - Determinação de massa volúmica do serrim: enchimento do balão

- 4) Limpam-se as paredes do balão e procedeu-se à sua pesagem contendo a amostra e registou-se o valor (m_1);
- 5) Encheu-se de água, o balão com a amostra de serrim, até ao traço de referência, anotando o valor da pesagem (m_2);

- 6) Vazou-se o conteúdo do balão num recipiente metálico e colocou-se na estufa a 105 ± 5 °C até o conteúdo estar completamente desprovido de água. Retirou-se o recipiente da estufa e procedeu-se à sua pesagem (m_3).

Deste ensaio resultaram os seguintes dados:

Quadro - 3 Resultados do ensaio de determinação de massa volúmica do serrim

Ensaio	Peso do balão (g)	m_1 (g)	m_2 (g)	m_3 (g)	m_4 (g)
1	240,0	167,5	1248,1	39,2	1235,9
2		152,7	1248,3	37,3	
3		170,1	1249,9	42,4	

Legenda: m_1 - massa da amostra com as partículas saturadas; m_2 - massa do balão com o provete e a água; m_3 - massa da amostra seca e m_4 - massa do balão com a água.

De acordo com a norma foram seguidas as seguintes expressões para a determinação de:

- 1) Massa volúmica das partículas secas, em gramas por centímetro cúbico:

$$\frac{m_3}{m_1 + m_4 - m_2} \quad (3)$$

- 2) Massa volúmica das partículas saturadas, em gramas por centímetro cúbico

$$\frac{m_1}{m_1 + m_4 - m_2} \quad (4)$$

- 3) Massa volúmica do material impermeável das partículas, em gramas por centímetro cúbico

$$\frac{m_3}{m_3 + m_4 - m_2} \quad (5)$$

- 4) Absorção de água pelo serrim em percentagem (%)

$$\frac{m_1 - m_3}{m_3} \times 100 \quad (6)$$

Os resultados dos três ensaios são apresentados no Quadro 4.

Quadro - 4 Resultados finais de massa volúmica do serrim e absorção de água

Ensaio	Massa volúmica das partículas secas (g/cm^3)	Massa volúmica das partículas saturadas (g/cm^3)	Massa volúmica do material impermeável das partículas (g/cm^3)	Absorção de água pelo serrim
1	0,25	1,1	1,5	327,3
2	0,27	1,1	1,5	309,4
3	0,27	1,1	1,5	301,2

Resultando, da média dos ensaios efetuados os seguintes valores de caracterização do serrim.

Quadro - 5 Resumo de resultados de caracterização de massa volúmica e absorção de água do serrim

Massa volúmica das partículas secas (kg/m^3)	Massa volúmica das partículas saturadas (kg/m^3)	Massa volúmica do material impermeável das partículas (kg/m^3)	Absorção de água pelo serrim (%)
263,3	1085,5	1481,0	312,6

Comparando os valores do Quadro - 2 e do Quadro - 5 verifica-se que os valores da massa volúmica partículas saturadas é relativamente aproximado.

Quanto à massa volúmica das partículas secas, esta é bastante menor que a da madeira que lhe deu origem. No entanto, tal pode ser explicado pelo facto destas partículas terem sido lavadas, ou seja foram removidas por lavagem alguns dos seus constituintes, e pelo facto de terem sido secas a cerca de 100°C , é provável que tenham perdido não só água em excesso mas também água de constituição.

Os resultados de absorção de água pelas partículas foram muito elevados, o que era previsível, devido à facilidade com que a madeira absorve ou liberta água para o meio ambiente, resultando numa capacidade de absorção superior a 3 vezes o seu peso.

3.1.2 Agregados

Para o fabrico das argamassas neste estudo utilizou-se areia de rio (ver Figura 11)



Figura 11 - Areia

Para esta areia determinou-se a respetiva curva granulométrica, segundo a Norma NP EN 933-1. O ensaio realizou-se da mesma forma que para a granulometria do serrim, mas com o incremento da lavagem definida na norma.

A lavagem da areia foi feita colocando uma amostra num recipiente com água, necessária para que esta fique coberta. Foi, posteriormente, agitado o conteúdo, de forma a separar as partículas da areia e conseguir-se a suspensão de finos.

Foram molhados ambos os lados de um peneiro de 63 μm , colocando um peneiro de proteção de 1 mm em cima.

Os peneiros foram colocados de forma que a solução que os atravessa possa ser recolhida num peneiro adequado.

Despejou-se o conteúdo no peneiro superior. Continuou-se a lavagem até que a água que passa o peneiro de 63 μm fosse límpida.

Procedeu-se à secagem da amostra depois de lavada na estufa e o restante ensaio é semelhante ao explanado para o serrim.

Os resultados granulométricos da areia utilizada são os seguintes:

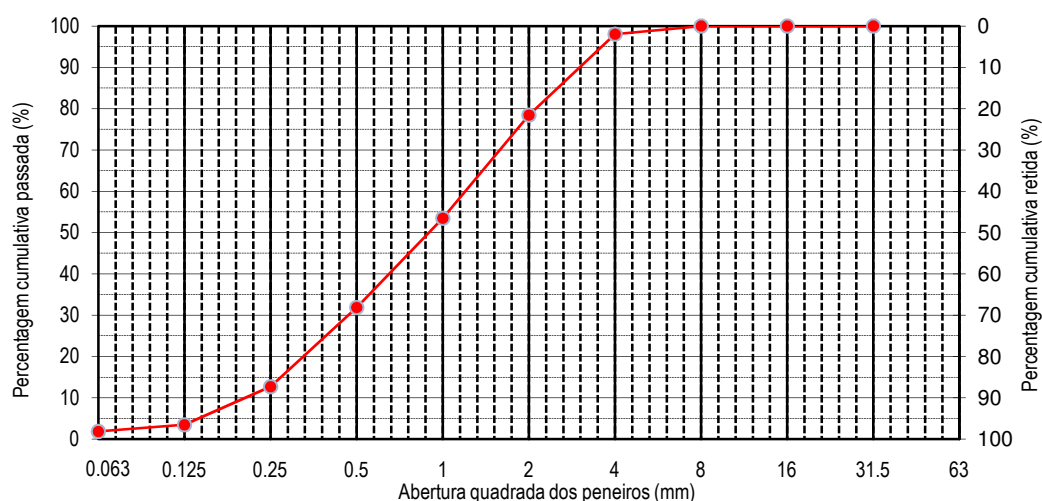


Figura 12 - Granulometria da areia

A massa volúmica aparente de agregados nomeadamente de areia, segundo as Tabelas Técnicas (Reis, 2010), situa-se entre o intervalo de 1100-1800 kg/m³, ou seja muito maior que a massa volúmica determinada para o serrim. Aliás na figura 13 seguinte temos 1 quilo de areia e de serrim, e é notória a diferença entre os volumes de cada material.



Figura 13 - Diferença volumétrica entre 1kg de areia e 1kg de serrim

3.1.3. Ligante

O ligante selecionado para estes trabalhos foi um cimento Portland de calcário, CEM II/ B-L 32,5N. E este cimento foi selecionado pelo facto de ser o mais económico e, também, por ser indicado para fabrico de argamassas para as mais variadas aplicações.

De acordo com a ficha técnica do fabricante, este tipo de cimento é constituído por clínquer, entre 65-79%, e calcário entre 21-35%. Este cimento apresenta um início de presa superior a 75 min e expansibilidade menor que 10 mm. A resistência à compressão mínima é de 16 e 32,5 (MPa) para os 7 e 28 dias, respetivamente.

3.1.4. Água

A água utilizada ao longo dos trabalhos desta dissertação foi água de torneira, proveniente da rede de distribuição da cidade de Guimarães.

3.1.5. Cloreto de cálcio

O cloreto de cálcio foi utilizado como acelerador de presa em percentagens de 3% da quantidade de cimento. A seleção deste produto bem como a quantidade empregue foi baseada no descrito em trabalho prévio.



Fig.- 14 Cloreto de Cálcio

3.1.6. Cal

A cal utilizada num dos processos de lavagem do serrim foi a cal hidráulica NHL5 da marca Secil, constituída maioritariamente por silicatos, aluminatos de cálcio e hidróxido de cálcio de acordo com a sua ficha técnica. A cal será utilizada para a produção de uma solução alcalina,

devido aos constituintes que possui, nomeadamente o hidróxido de cálcio, que é uma base forte.

Este tipo de cal pode ser utilizado para o fabrico de argamassas, de blocos ou outros artefactos para construção, no tratamento de solos para melhoria de características mecânicas e trabalhabilidade ou como substituto de filler em misturas betuminosas.

3.2 Metodologias

Neste subcapítulo serão descritos os trabalhos e os ensaios efetuados ao longo da dissertação, necessários para o desenvolvimento e progressão dos mesmos. Para além disso, são apresentadas, também, as composições das argamassas abordadas.

3.2.1. Trabalhos preliminares

Foram executados trabalhos prévios ao desenvolvimento dos trabalhos mais diretamente relacionados com o tema. Estes trabalhos são aqui descritos, bem como são, também, descritas e justificadas algumas opções tomadas para a realização dos trabalhos.

O primeiro trabalho desenvolvido foi o da seleção dos tratamentos a sujeitar o serrim, de forma a diminuir o efeito de incompatibilidade madeira-cimento. Para que esta incompatibilidade não ocorra pode sujeitar-se o serrim a tratamentos que eliminem, substâncias que possam causar este tipo fenómeno, como a lavagem das fibras e a sua imersão em água a ferver, ou através da impermeabilização das fibras com resinas ou mesmo a mineralização com cimento. Outra forma de contrariar este efeito é a adição de aceleradores de tempo de presa como o cloreto de cálcio, cloreto de magnésio e o sulfato de alumínio, entre outros. Há ainda autores que referem que este fenómeno está relacionado com a libertação de ácidos por parte da madeira, que reduzem o pH da matriz cimentícia fazendo atrasar as reações de presa, pelo que é, também, indicada a imersão das fibras numa mistura alcalina, fazendo aumentar o pH das mesmas.

Uma vez que diferentes autores mencionam vários tipos de tratamentos, para diferentes tipos de justificação da incompatibilidade, serão testados 5 tipos de tratamento das fibras para a redução deste efeito, baseados em diferentes pressupostos:

- Lavagem das fibras com água fria;
- Imersão das fibras em água a ferver;
- Adição de 3% de cloreto de cálcio;
- Mineralização das fibras;
- Imersão das fibras numa solução de água e cal.

Estes processos de tratamento consistem no seguinte:

A lavagem em água fria consiste em mergulhar as partículas de madeira, ou serrim em água, procedendo à substituição da mesma até que a água se apresente aproximadamente límpida, ou seja, até que as partículas já não libertem substâncias para a água. No processo de troca da água foi tido o cuidado de usar um peneiro fino para não ocorrer perda de substâncias. A Figura 15 mostra o aspeto das fibras imersas, verificando-se que algumas partículas flutuam na água;



Figura 15 - Serrim imerso em água fria

As imagens seguintes (Figura 16) ilustram a água no início do processo de lavagem, isto é a primeira água adicionada, numa fase intermédia e no fim do processo.



Figura 16 - Fases de lavagem do serrim em água fria

No fim do processo de lavagem o serrim foi retirado da água procurando não perder material, colocado num saco, que foi comprimido para eliminar o excesso de água contido no serrim.

É de referir que houve necessidade de efetuar 2 lavagens de serrim, uma vez que o serrim da primeira lavagem não foi suficiente para a execução dos trabalhos.

A imersão em água fervente consistiu em aquecer água até esta ferver, utilizando uma panela grande e um fogão industrial. Quando a água começava a ferver colocava-se o serrim na panela e deixava-se a ferver entre 5 a 10 minutos. O serrim era depois retirado da panela e colocado a escorrer em cima de uma grelha com um pano para que não se perdesse o material mais fino.

Adição de 3% de cloreto de cálcio foi selecionada de forma a contornar o problema da incompatibilidade, já que esta substância é utilizada para acelerar as reações de presa (uma vez que Lança (P. n.d.) indica que este tipo de agente funciona como acelerador, em quantidades inferiores a 1% retarda a presa e superiores a 2% acelera a presa do cimento);

A mineralização das fibras consiste em adicionar cimento ao serrim húmido de forma que este preencha a superfície das partículas de madeira. Isto é, a humidade presente nas paredes das partículas liga-se ao cimento hidratando o mesmo e fazendo com que este endureça, formando-se uma película de cimento em volta das fibras, evitando a libertação de substâncias que possam retardar a presa do cimento. A Figura 17 mostra o aspeto do serrim após a mineralização.



Figura 17 - Serrim mineralizado

É de referir, ainda, que este tipo de serrim foi utilizado seco, uma vez que a mineralização diminui a absorção de água por parte do serrim, e, também, torna as partículas mais densas, impedindo a flutuação.

A imersão de fibras numa solução de água e cal foi selecionada uma vez que segundo Savastano *et al* (2000), bem como Wei *et al* (2000) indicam que poderá ocorrer libertação de substâncias ácidas por parte das partículas de madeira que fará com que o pH da composição cimentícia diminua, aumentando o tempo de presa. Pelo que, este processo de tratamento, visa aumentar o pH das fibras para que este efeito seja diminuído. Neste processo foi seguido o procedimento descrito por Gazola (2007), que refere a lavagem do serrim com uma solução alcalina constituída por 115 gramas de cal, diluídas em 10 litros de água para 6 quilos de serrim. Deixou-se repousar a mistura durante três dias, removendo depois a água em excesso da mesma.

Outra variável que foi estudada em estudos preliminares foi o estado em que o serrim deveria ser utilizado, se completamente seco ou húmido.

Inicialmente, pensou-se na utilização de serrim seco para que a água da amassadura fosse apenas a que era adicionada e não existisse um acréscimo de água com a adição de serrim húmido.

No entanto, o que aconteceu foi que estas amassaduras ficaram muito secas. Isto, levou à necessidade de aumentar a quantidade de água adicionada, na tentativa de melhorar a

trabalhabilidade da argamassa. Porém, verificou-se que o aumento de água não levava a melhorias na trabalhabilidade.

Neste tipo de amassaduras existiu muita segregação, funcionando a areia como filtro para água, que se escapou por entre o provete moldado arrastando as fibras de madeira mais finas, que por estarem secas flutuavam na água em excesso. Obtivemos um provete de argamassa com a mesma forma do molde mas com água em seu redor e partículas de madeira a flutuar.

Por este motivo, decidiu-se utilizar as partículas de madeira húmidas, efetuando-se o controlo de humidade das mesmas. No entanto a quantidade de serrim a utilizar foi determinada tendo em conta a humidade. O teor de humidade das partículas de madeira foi determinado tendo por base a Norma NP EN 1097-5, mas com algumas alterações, nomeadamente no processo de secagem utilizado. Efetuou-se o seguinte procedimento:

- 1) Pesou-se um recipiente cerâmico representado na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, e registou-se o seu valor (M_1);
- 2) Encheu-se o recipiente de serrim húmido, pesou-se e registou-se o valor do provete de serrim húmido, obtido por subtração do peso do recipiente como sendo M_2 ;
- 3) Levou-se o recipiente ao micro-ondas, durante cerca de 10 minutos até o serrim se encontrar seco, tendo o cuidado de verificar que as partículas não entravam em combustão;
- 4) Retirou-se o recipiente do micro-ondas, pesou-se e registou-se o valor do provete seco M_3 .

A humidade relativa foi então determinada pela expressão:

$$Hr = \left(1 - \left(\frac{M_3}{M_2} \right) \right) * 100 \quad (8)$$

Em que, Hr é a humidade contida no serrim em %, M_3 é o peso de serrim seco em gramas e M_2 é o peso do serrim húmido em gramas.

Após estes procedimentos, as humidades relativas dos vários tipos de serrim utilizados foram:

Quadro - 6 Humidade Relativa dos diferentes tipos de serrim

Serrim	Humidade relativa (%)
Serrim normal (conforme recebido da serração)	65,0
Serrim lavado 1	60,5
Serrim lavado 2	74,0
Serrim fervido	69,7
Serrim lavado com solução de cal	79,4

O controlo da quantidade de água, adicionada das amassaduras, foi feito de forma diferente ao longo das fases deste trabalho.

Numa primeira fase, pensou-se na definição de um intervalo de espalhamento, e procurou-se definir as quantidades de água necessárias para que cada amassadura cumprisse esse intervalo, de forma a ter um denominador comum a todas as amassaduras. Para tal, pensou-se em acertar a quantidade de água até se atingir o espalhamento no intervalo pretendido, em amostras de argamassas menores, de forma a não existir desperdícios de material, determinada a quantidade de água passar-se-ia à execução da totalidade de argamassa necessária aos ensaios a executar. Porém o que aconteceu foi que, na amassadura com 450 g de areia, 150g cimento, 143,3 g de serrim fervido húmido e 140 g de água, obteve-se um resultado no ensaio de espalhamento de 147,5 mm. Para a mesma razão água cimento, mas numa amostra 15 vezes superior o espalhamento obtido foi de 197,5 mm, superior ao limite máximo que tinha sido pensado de 180 mm, verificando-se variações com o aumento do volume de argamassa produzido. Devido a este motivo, e para que não houvesse desperdício de materiais decidiu-se definir uma razão A/C (Água/Cimento) de 0,6, fazendo-se todas as amassaduras com a mesma razão, tendo portanto a mesma quantidade de água adicionada. Esta razão A/C foi seleccionada uma vez que, para a amostra padrão, se fez a primeira amassadura com razão A/C= 0,5, verificando-se que a amostra apresentava um espalhamento de 140mm pelo que se achou que a amassadura seria seca, e prevendo-se que a adição de serrim tornasse ainda mais seca a amassadura, optou-se por aumentar para 0,6 a razão A/C.

Nesta fase será mencionada sempre a razão A/C como sendo 0,6, no entanto, é importante ter noção que quando adicionamos o serrim húmido estamos a adicionar uma quantidade suplementar de água, presente no serrim. No entanto, é difícil delimitar quanta dessa água, contida no serrim, contribuiria para um aumento da água disponível para a hidratação do cimento, já que, grande parte da humidade do serrim se encontra absorvida por este. É também importante referir que embora o serrim se encontre húmido, mas não saturado, possui capacidade de absorção, podendo absorver parte da água adicionada, pelo que é difícil identificar com exatidão a razão água cimento já que estes fenómenos podem variar facilmente a quantidade de água que contribuirá para a hidratação do ligante.

Esta abordagem pareceu adequada, pois, embora exista grande variabilidade nos valores de espalhamento verificados, o objetivo era comparar os resultados de resistências, para os diferentes tipos de tratamento, de forma a determinar qual o tratamento mais adequado, e portanto torna-se importante existir um denominador comum nas amassaduras, sendo este a quantidade de água adicionada.

Na segunda fase pretende obter-se uma composição para uma amassadura com o máximo de substituição de serrim, a mínima quantidade de cimento (kg/m^3), capaz de atingir uma resistência de aproximadamente 1 MPa.

Nesta fase decidiu-se optar pela seleção de um intervalo de espalhamento entre 14-18 cm, e foi sendo incrementada a quantidade de água até que o resultado de ensaio de espalhamento se enquadrasse neste intervalo

É de referir que o serrim utilizado nesta etapa foi serrim lavado, este aspeto será explicado aquando da apresentação de resultados da primeira fase.

Na terceira fase procedeu-se da mesma forma que na segunda, uma vez se fez a repetição de amassaduras feitas nesta última. No entanto, o serrim utilizado foi o serrim sujeito ao segundo processo de lavagem, uma vez que o serrim lavado resultante da primeira lavagem não foi suficiente, e uma vez que este apresentava humidade relativa superior ao primeiro, essa diferença de humidade foi retirada à água adicionada. O serrim apresentava mais cerca de 13,5% de humidade e foi feita a quantificação da quantidade de água que essa percentagem de água representava tendo sido subtraída à quantidade de água adicionada.

3.2.2. Composições estudadas

É de referir que todo o processo de desenvolvimento deste trabalho foi um processo iterativo, sendo as opções tomadas ao longo do desenvolvimento do mesmo de acordo com os resultados que foram obtidos. Portanto, é importante, antes da descrição das composições, fazer um breve resumo do desenrolar dos trabalhos.

As primeiras amassaduras foram feitas para percentagens de substituição de 2 e 5% de areia por serrim, uma vez que se pretendia, para além da seleção do tratamento, verificar se existiriam benefícios da incorporação das fibras ao nível do comportamento mecânico, de forma a poderem ser aplicadas no fabrico de argamassas ou betões. Foram também testados dois tipos de cura: cura húmida, isto é cura imersa em água já que é o tipo de cura indicado pela norma e o mais adequado ao desenvolvimento das reações de presa do cimento; e cura seca, isto é em ambiente controlado, em estufa a 20°C e humidade relativa de 60%, uma vez que a humidade faz diminuir as propriedades mecânicas da madeira e, consequentemente, pode levar a diferenças nas resistências dos provetes uma vez que estes contêm partículas de madeira.

Verificou-se que a incorporação de fibras diminuía bastante as resistências mecânicas e portanto decidiu-se direccionar o estudo para argamassas leves, já que o serrim é um material leve e estas argamassas não apresentam grandes exigências mecânicas.

Procurou-se, então, definir composições com a máxima substituição de areia por serrim e menor quantidade de cimento. No entanto as quantidades de cimento foram seleccionadas tendo por base a quantidade referida na norma NP EN 196-1, de 450 g, para 1350 g de areia, uma vez que esta foi a quantidade utilizada nos estudos da primeira fase, definindo-se quatro quantidades próximas desta de 300, 400, 500 e 600 g a adicionar, determinando-se, posteriormente, a quantidade de cimento por metro cúbico e sendo feita a seleção das composições com maior potencial, baseadas nestes valores. As composições com maior potencial, isto é maior incorporação de serrim e menor quantidade de cimento e resistência à compressão suficiente, foram escolhidas para uma caracterização mais completa.

Quadro - 7 Composições estudadas na fase 1

Composição	Areia substituída (%)	Areia (g)	Cimento (g)	Serrim (g)	Água (g)	Cloreto de cálcio (g)
PADRÃO	0	1350	450	0,00	270	0
SN	2	1323	450	77,14	270	0
	5	1282,5	450	189,00	270	0
SF	2	1323	450	89,11	270	0
	5	1282,5	450	222,77	270	0
SL	2	1323	450	45,38	270	0
	5	1282,5	450	113,45	270	0
SM	2	1323	450	27,00	270	0
	5	1282,5	450	67,50	270	0
SLC	2	1323	450	131,07	270	0
	5	1282,5	450	327,67	270	0
SC	2	1323	450	77,14	270	13,5
	5	1282,5	450	192,86	270	13,5

Legenda:

SN- Serrim Normal

SM- Serrim Mineralizado

SF- Serrim fervido

SLC- Serrim lavado com cal

SL- Serrim lavado

SC- Serrim com catalisador

O

Quadro - 7 descreve todas as composições produzidas ao longo da fase 1.

Fase 2

As quantidades de cimento testadas, pelos motivos já mencionados, foram de 300, 400, 500 e 600 g, para uma quantidade de areia de 1350g. A designação C 300 indica precisamente que naquela amassadura foram utilizadas 300g de cimento para 1350 g de areia, a adoção deste tipo de nomenclatura deve-se ao facto, de devido às variações nas percentagens de serrim nas argamassas, bem como da quantidade de água nas amassaduras, variar também o volume de argamassa produzido e consequentemente variar a quantidade de cimento por unidade de volume. Daí de forma a poder identificar-se a quantidade de cimento que se está a referir adotou-se esta nomenclatura.

Foram ainda feitas duas amassaduras adicionais, para uma percentagem de substituição de 5%, com C250 e C200, já que a composição C300 e para 5% de areia substituída por serrim apresentou potencial para a terceira fase, com folga na resistência, relativamente ao valor alvo. Portanto, estas duas composições surgiram devido à tentativa de baixar a quantidade de cimento.

Quadro - 8 Composições estudadas Fase 2

Designação da amostra	Areia (g)	Cimento (g)	Serrim (g)	Água (g)	Água adicional (g)	A/C BASE	A/C REAL
20-C600	1080,0	600,0	668,3	360	80,8	0,6	0,7
15-C500	1319,6	575,0	576,4	345	127	0,6	0,8
15-C600	1262,3	690,0	551,4	414	108,3		0,8
12,5-C300	2362,5	600,0	835,4	360	730,5	0,6	1,8
12,5-C400	2362,5	800,0	835,4	480	519,7		1,2
12,5-C500	2362,5	1000,0	835,4	600	287		0,9
12,5-C600	2362,5	1200,0	835,4	720	125,6		0,7
10-C300	1458,0	360,0	401,0	216	246,7	0,6	1,3
10-C400	2430,0	800,0	668,3	480	287,1		1,0
10-C500	2430,0	1000,0	668,3	600	114,5		0,7
10-C600	2430,0	1200,0	668,3	720	103,6		0,7
7,5-C300	2511,0	600,0	467,8	360	241,7	0,6	1,0
7,5-C400	2511,0	800,0	467,8	480	161,7		0,8
7,5-C500	2511,0	1000,0	467,8	600	0		0,6
7,5-C600	2511,0	1200,0	467,8	720	0		0,6
5-C200	2308,5	360,0	482,1	88,7	452,0	0,5	1,5
5-C250	2308,5	450,0	482,1	129,2	382,7	0,5	1,1
5-C300	1923,8	495,0	275,7	225	213,4	0,5	0,9
400	2116,1	660,0	275,7	330	69,8		0,6

5-C500	2116,1	825,0	275,7	412,5	0		0,5
5-C600	2327,7	1089,0	303,2	435,6	68,2	0,4	0,5

O Quadro - 8 apresenta as composições estudadas na fase 2.

A designação das argamassas vai ser feita da seguinte forma 5-C300, isto refere-se a uma argamassa com 5% de serrim e quantidade de cimento C300.

A água adicional apresentada no quadro refere-se à água que foi adicionada para além da razão A/C base, de forma a cumprir o intervalo de espalhamento.

A determinação da quantidade de serrim foi feita da mesma forma que para a primeira fase, tendo em conta a sua humidade, isto é, a quantidade de serrim apresentada é a quantidade de serrim húmido necessária para que na amassadura exista a quantidade de serrim correspondente à percentagem de substituição em causa.

Nesta fase de trabalhos, os ensaios de resistência à compressão foram feitos aos 7 dias de idade dos provetes e, para ser possível a comparação das resistências aos 28 dias com o valor mencionado de 1 MPa, estas foram estimadas tendo por base o processo definido no Eurocódigo 2, para betão, segundo o qual, a tensão de compressão do betão numa idade t depende do tipo de cimento, da temperatura e das condições de cura. Para uma temperatura média de 20 °C e uma cura de acordo com EN 12390, a tensão de rotura à compressão do betão nas várias idades, $f_{cm}(t)$ pode ser estimada pelas seguintes expressões:

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm} \quad (9)$$

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\} \quad (10)$$

Em que :

$f_{cm}(t)$ -tensão de rotura à compressão no instante t (MPa);

f_{cm} - tensão de rotura aos 28 dias (MPa);

$\beta_{cc}(t)$ - coeficiente que depende da idade do betão t ;

s - coeficiente que depende do tipo de cimento, no caso de CEM 32,5 N é de 0,38;

Como a idade dos provetes ensaiados é de 7 dias o valor de $\beta_{cc}(t)$ vem:

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ 0,38 \left[1 - \left(\frac{28}{7} \right)^{1/2} \right] \right\} = 0,689 \quad (11)$$

No entanto, o processo de cálculo é inverso uma vez que o que se pretende determinar é a resistência aos 28 dias com base na resistência aos 7 dias pelo que a expressão será a seguinte:

$$f_{cm} = \frac{f_{cm}(t)}{\beta_{cc}(t)} \quad (12)$$

Ou seja,

$$f_{cm} = 1,462 f_{mc}(t) \text{ (MPa)} \quad (13)$$

Para além disso, uma vez que se pretendia seleccionar algumas argamassas para uma caracterização mais exaustiva, interessa determinar a quantidade de cimento por unidade de volume de argamassa. Procurando as composições com maior quantidade de areia substituída e menor quantidade de cimento, uma vez que incorporações de diferentes percentagens de serrim levam a volumes finais da argamassa diferentes.

A estimativa da quantidade de cimento por m^3 foi feita utilizando através dos resultados da massa volúmica fresca da argamassa e da massa total dos constituintes utilizados para o fabrico da argamassa.

A massa volúmica fresca, é o é determinada sabendo o peso do total dos constituintes e o volume total de argamassa produzido, pelo que a quantidade de cimento estimada corresponde ao quociente entre a quantidade de cimento (kg) pelo volume total de argamassa produzido (m^3).

As composições utilizadas na fase 3 serão descritas aquando da apresentação de resultados da fase 2.

3.2.3. Descrição de ensaios

As amassaduras foram feitas tendo por base a Norma NP EN-196-1.

O procedimento execução das amassaduras efetuadas ao longo deste trabalho, quer para a realização de ensaios no estado fresco, quer para a execução de provetes para ensaios posteriores, é descrito de seguida.

- 1) Pesaram-se todos os constituintes da amassadura a executar numa balança com exatidão de $\pm 1\text{g}$;
- 1) A areia, o cimento e o serrim foram colocados no recipiente da misturadora (Fig.- 18);



Fig.- 18 Misturadora

- 2) Pôs-se a misturadora em funcionamento durante 30 s, em velocidade lenta de forma a homogeneizar a mistura;
- 3) Ao fim de 30 s, começou a ser adicionada a água, lentamente e com cuidado para não existirem perdas;
- 4) Quando toda a água estava adicionada, começou a contagem de mais 30 s em velocidade lenta;
- 5) De seguida, pôs-se a misturadora em velocidade rápida e continuou-se a amassadura durante mais 30s;

- 6) Parou-se a misturadora durante 90 s, e durante os primeiros 30s raspam-se as paredes do recipiente;
- 7) Continuou-se a amassadura durante mais 60 s à velocidade rápida.
- 8) No final do tempo de amassadura, passou-se imediatamente à fase de moldagem dos provetes;
- 9) Prepararam-se os moldes, lubrificando os mesmos com óleo descofrante de forma a facilitar a descofragem posterior. Os moldes usados ao longo deste trabalho foram de 3 tipos, prismáticos, de dimensões $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$, cúbicos, de $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ e cilíndricos de 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro.
- 10) Encheram-se os moldes com uma primeira camada de argamassa estendida uniformemente com uma espátula, compactou-se a primeira camada recorrendo à mesa vibratória, apresentada, durante cerca de 15 s;
- 11) Introduziu-se a segunda camada de argamassa, nivelou-se e compactou-se novamente durante cerca de 15 s;
- 12) Retirou-se o excesso de argamassa e alisou-se a superfície dos provetes utilizando uma régua metálica plana, mantida na vertical, com leves movimentos transversais;
- 13) Por fim, colocaram-se os provetes durante 24 horas em câmara húmida, procedendo-se, ao fim desse tempo, à sua desmoldagem, registando a data de amassadura e de desmoldagem;
- 14) Na primeira fase o acondicionamento dos provetes depois da sua moldagem foi feito de duas maneiras diferentes:

Em cura húmida, isto é, imerso em água num recipiente com nível de água. Ou em cura seca, acondicionados em estufa com temperatura constante de 20°C e humidade relativa de 60%.

Nas duas fases seguintes apenas se utilizou acondicionamento em cura húmida, como se mostra na Figura 19.



Figura 19 - Provete em cura húmida

3.2.3.1. Determinação de resistências mecânicas

Flexão

A determinação da resistência à flexão foi feita de acordo com a norma EN 1015-11, pelo método de aplicação de carga concentrada a meio vão (Figura 20).



Figura 20 - Equipamento de ensaio de resistência à flexão

A sequência de ensaio foi a seguinte:

- 1) Os provetes foram retirados de água, colocando-se um pano húmido sobre estes até ao momento do ensaio, no caso de cura húmida;
- 2) No momento do ensaio, colocaram-se os provetes na máquina, de forma que os apoios estivessem distanciados 10 centímetros, como mostra a Figura 21;

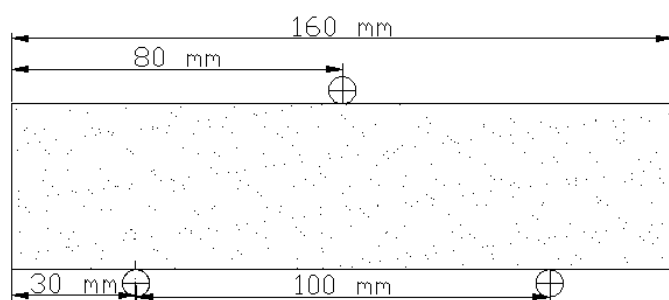


Figura 21 - Esquema de posicionamento do provete (1) e provete colocado no mecanismo de ensaio (2)

- 3) Deu-se início ao ensaio com a aplicação de carga uniforme de 50 N/s até à rotura do provete;
- 4) Registou-se a carga aplicada máxima em N;
- 5) Calculou-se a resistência à flexão (f) através da expressão:

$$f = 1,5 \frac{Fl}{bd^2} \quad (14)$$

Em que :

f - Resistência mecânica (MPa)

F - Carga máxima registada (N)

l - Distância entre apoios em milímetros (mm)

b - Largura do provete (mm)

d - Altura do provete (mm)

A resistência à flexão de uma determinada amassadura corresponde à média de 3 ensaios efetuados.

Compressão

Os provetes ensaiados neste ensaio ao longo desse trabalho foram de dois tipos. Na primeira fase, ensaiaram-se à compressão as duas metades dos provetes de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$, utilizados no ensaio de resistência à flexão; na segunda e terceira fase os provetes utilizados para a

determinação de resistência à compressão foram cubos de dimensões $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$. De acordo com as dimensões dos provetes, os acessórios utilizados no ensaio foram diferentes como mostra Figura 22.

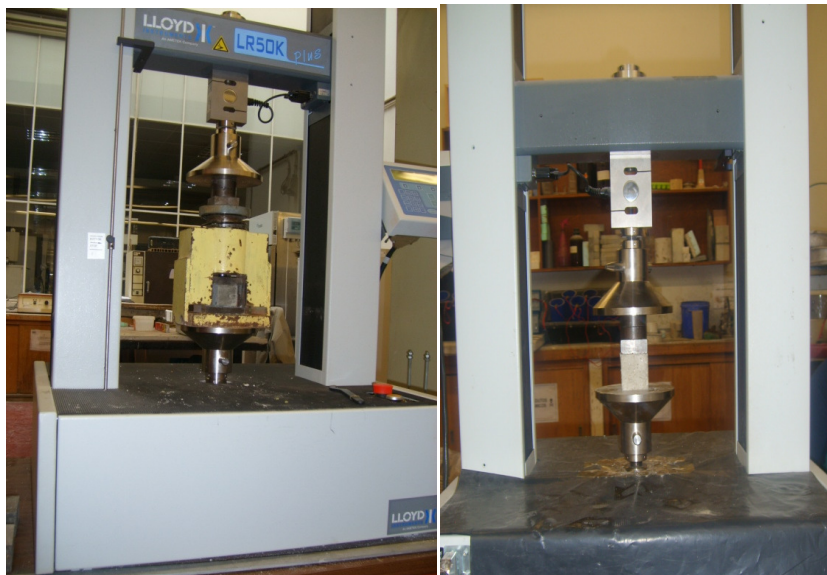


Figura 22 - Equipamentos de ensaio de resistência à compressão: 1- Ensaio de metades de provetes $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$; 2-ensaio de provetes $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$

O procedimento de ensaio foi o seguinte:

- 1) Colocou-se o provete no equipamento de ensaio, e deu-se início ao mesmo pela aplicação de uma carga de 50 N/s até levar o provete à rotura;
- 2) Registou-se a carga máxima verificada e com isso determinou-se a resistência à compressão, dividindo a máxima carga registada (N) pela área de aplicação de carga (mm^2).
- 3) O resultado do ensaio é a média de três provetes ensaiados, ou, no caso das metades dos provetes de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$, de 6 provetes de ensaio.

3.2.3.2 Determinação de consistência da argamassa no estado fresco pela mesa de espalhamento

A determinação de consistência das argamassas foi feita através do ensaio de espalhamento, baseado na norma EN 1015-3, cujo procedimento seguido foi:

1) Procedeu-se à limpeza das faces do molde (Figura 23) e à sua lubrificação com óleo descofrante;



Figura 23 - Mesa de ensaio de espalhamento, molde e compactador metálico

- 2) Colocou-se o molde no centro da mesa de espalhamento e encheu-se com argamassa em duas camadas, cada uma compactada com 10 pancadas provocadas pelo peso próprio, de aproximadamente 250 g, do compactador metálico presente na Figura 23;
- 3) Removeu-se o excesso de argamassa do molde alisando a superfície com uma régua metálica plana;
- 4) Limpou-se a área livre da mesa de espalhamento. Após 15 s removeu-se o molde verticalmente e com muito cuidado;
- 5) Efetuaram-se 15 pancadas com a mesa de espalhamento a uma frequência relativamente constante de cerca de 1 pancada por segundo;
- 6) Mediu-se o diâmetro da argamassa nos dois sentidos tal como se mostra na Figura 24, num ângulo aproximadamente reto, indicando-se o resultado em milímetros, sendo este a média das duas medições;



Figura 24 - Medição de espalhamento de uma argamassa

Deste ensaio, para além do resultado numérico do espalhamento resulta a perceção visual da trabalhabilidade da argamassa, apresentando-se aqui imagens de algumas misturas com trabalhabilidades distintas (Figura 25)



Figura 25 - Argamassas com diferente trabalhabilidade

Das figuras acima identifica-se, pela ordem que se apresentam, uma argamassa seca, uma argamassa com pouca trabalhabilidade mesmo com excesso de água, verificando-se alguma segregação, uma argamassa trabalhável e por fim uma argamassa fluida.

3.3.3.3. Determinação do teor de ar de argamassa no estado fresco

Para a determinação do teor de ar das argamassas seguiu-se como base a norma EN 1015-7, , utilizando um equipamento, com capacidade para 1 litro de argamassa, apresentado na Figura 26.



Figura 26 - Equipamento de determinação de teor de ar em argamassas no estado fresco

Este ensaio foi realizado da seguinte forma:

- 1) Depois de feita a argamassa preencheu-se o recipiente em duas camadas diferentes cada uma compactada com 10 pancadas, provocadas pelo mesmo compactador metálico utilizado no ensaio de espalhamento (Figura 27);



Figura 27 - Enchimento do recipiente de teste e compactação da argamassa

- 2) Removeu-se o excesso de argamassa e alisou-se a superfície com recurso a uma régua metálica plana;
- 3) Limparam-se os bordos do recipiente para que não existissem partículas a impedir o fecho correto do equipamento, e fechou-se o mesmo;
- 4) Abriram-se as duas válvulas e injetou-se, água para o interior do equipamento até que fosse expelido todo o ar da superfície da argamassa, pela válvula contrária, de forma que a área entre a superfície da argamassa e da superfície do equipamento estivesse preenchida por água (Figura 28);



Figura 28 - Injeção de água e remoção do ar do interior do recipiente de teste

- 5) Fecharam-se ambas as válvulas e procedeu-se à pressurização da argamassa através do mecanismo de bombagem do equipamento, até que o ponteiro estabiliza-se;
- 6) Procedeu-se à calibração do equipamento, movendo o ponteiro até ao ponto de partida sinalizado a vermelho;

- 7) Deixou-se estabilizar o ponteiro e procedeu-se ao teste, registando-se o valor do teor de ar dado em percentagem.

3.2.3.4. Determinação da massa volúmica da argamassa no estado fresco

A determinação da massa volúmica da argamassa no estado fresco foi feita de acordo com o seguinte procedimento:

- 1) Utilizou-se um recipiente metálico, neste caso a base do equipamento de determinação do teor de ar, cuja capacidade foi determinada aquando da determinação da massa volúmica aparente do serrim e é de $0,0009688 \text{ m}^3$;
- 2) Aquando deste recipiente cheio, segundo as condições explanadas no ensaio de determinação do teor de ar, e antes da realização deste, procedeu-se à sua pesagem e ao resisto do resultado;
- 3) O cálculo da massa volúmica fresca foi feito de acordo com a equação 2, isto é através da divisão da massa registada pelo volume correspondente.

3.2.3.5. Determinação da massa volúmica de argamassas no estado endurecido

O ensaio de determinação de massa volúmica no estado endurecido foi realizado tendo por base a norma EN 1015-10 e o procedimento efetuado consistiu no seguinte:

- 1) Acondicionaram-se os provetes até à idade de 28 dias imersos em água;
- 2) Decorrido esse tempo retiraram-se os provetes de água e procedeu-se à sua secagem até massa constante em estufa a $105 \pm 5^\circ\text{C}$.
- 3) Considerou-se a massa constante do provete saturado ($m_{s,sat} \text{ (g)}$); quando a diferença entre as massas obtidas em duas pesagens consecutivas, intervaladas de pelo menos 24h, foi inferior a 0,1% da média das duas leituras;

- 4) Registou-se a massa dos provetes secos com massa constante ($m_{s,dry}$) em gramas (g);
- 5) Imergiram-se os provetes em água a cerca de 20°C, até massa constante;
- 6) Removeu-se a água da superfície dos provetes, um por um, com recurso a um pano absorvente húmido;
- 7) Pesou-se cada provete registando-se a massa do provete saturado ($m_{s,sat}$ (g));
- 8) Procedeu-se à determinação da massa hidrostática dos provetes pela pesagem imersa em água, registando-se o valor da mesma ($m_{s,i}$ (g));
- 9) Determinou-se o volume do provete através da fórmula seguinte:

$$V = \frac{m_{s,sat} - m_{s,i}}{\rho_w} \quad (15)$$

Em que ρ_w é a massa volúmica da água, correspondendo a aproximadamente 1000 kg/m³.

- 10) Calculou-se a massa volúmica da argamassa no estado endurecido através do quociente entre a massa do provete seco e o volume do provete determinado anteriormente;
- 11) O resultado por tipo de argamassa é o resultado da média de ensaios efetuados em três amostras.

3.2.3.6. Resistência à tração por compressão diametral

A determinação da resistência à tração das argamassas estudadas nesta fase foi feita de forma indireta, através do ensaio de determinação da resistência à tração por compressão diametral, o procedimento executado teve por base a Norma NP EN 12390-6 e consistiu no seguinte:

- 1) Retiraram-se os provetes de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura de água após 35 dias de cura. Removeu-se o excesso de humidade da superfície dos provetes antes de os colocar na máquina de ensaio;
- 2) Colocou-se o provete em posição central da máquina de ensaio;
- 3) Posicionaram-se, cuidadosamente, duas faixas de cartão, com dimensões de, aproximadamente, 5 mm de largura, 1 mm de espessura e 100 mm de comprimento;



Figura 29 - Posicionamento do provete e faixas de cartão

- 4) Procedeu-se ao início da aplicação de carga, assegurando que o provete se mantinha centrado, com a aplicação de carga a uma velocidade de 50 N/s;
- 5) Registou-se a carga máxima aplicada e examina-se o provete fraturado e o aspeto da argamassa;



Figura 30 - Examinação dos provetes fraturados

- 6) Determinou-se a resistência à tração por compressão diametral através da expressão:

$$f_{ct} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d} \quad (16)$$

Em que :

f_{ct} é a resistência à tração por compressão, em MPa;

F é a carga máxima em N;

L é o comprimento da linha de contacto do provete, em mm;

d é a dimensão vertical da secção transversal do provete, em mm.

3.2.3.7. Determinação da absorção de água por imersão

A determinação da absorção de água por imersão foi baseada na Especificação LNEC E 394.

Cujo procedimento será aqui descrito:

- 1) Pegou-se em três provetes cúbicos de $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ (por amassadura), e introduziram-se os mesmos em água de consumo público, a uma temperatura de aproximadamente $20 \pm 3^\circ\text{C}$, até estes provetes terem massa constante, registando-se esse valor m_1 . Este procedimento foi feito por etapas, de forma que os provetes fossem imersos sucessivamente, em intervalos de 1h, a 1/3 da sua altura, 2/3 e por fim na totalidade da sua altura, garantindo que o nível final não ultrapassou 20 mm da face superior dos provetes imersos;
- 2) É de referir que o conceito de massa constante utilizado foi o já descrito no ensaio de determinação massa volúmica no estado endurecido, de forma que fosse possível a realização destes dois ensaios com os mesmos provetes, pela semelhança das medições evitando duplicação de trabalhos.
- 3) Antes das pesagens procurou-se secar a superfície dos provetes com um pano absorvente húmido mas espremido, de forma a remover toda a água superficial;
- 4) Após massa constante, pesaram-se os provetes dentro de água, determinando-se assim a sua massa hidrostática (m_2), após saturação;
- 5) Retiraram-se os provetes da água e procedeu-se à sua secagem até massa constante, numa estufa ventilada à temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$. Considerando-se massa constante do provete seco (m_3) quando a diferença entre as massas obtidas entre duas pesagens consecutivas, intervaladas de pelo menos 24 h, for inferior a 0,1% da média das duas leituras;
- 6) Determinou-se a absorção de água por imersão, em percentagem, através da expressão:

$$A_i = \frac{m_1 - m_3}{m_1 - m_2} \times 100 \quad (17)$$

- 7) O resultado, por tipo de argamassa, é dado pela média de três ensaios.

3.2.3.8. Determinação da absorção de água por capilaridade

A determinação da absorção de água por capilaridade foi feita tendo por base a norma EN 1015-18

De acordo com esta norma o procedimento seguido foi o seguinte:

- 1) Os provetes utilizados neste ensaio foram provetes de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$, utilizando três provetes por argamassa;
- 2) Mantiveram-se os provetes imersos em água até aos 28 dias de idade;
- 3) Retiraram-se os provetes da água e foram secos em estufa a $105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ até ser obtida massa constante;
- 4) Procedeu-se à impermeabilização das faces laterais dos provetes (faces maiores) para que fosse garantida a penetração de água apenas pela base em contacto com a água, apresentando o seguinte aspeto no final (Figura 31);



Figura 31 - Provetes impermeabilizados

- 5) Deixou-se secar o impermeabilizante e partiram-se os provetes, de forma que cada metade medisse aproximadamente 8 cm;
- 6) Colocaram-se os provetes num tabuleiro com tampa e grelha de suporte, apoiando a face quebrada sobre a grelha;
- 7) Encheu-se o tabuleiro cuidadosamente com água, garantindo uma profundidade entre 5 a 10 mm acima da face apoiada do provete, durante o teste;

- 8) Colocou-se a tampa sobre o tabuleiro de forma a evitar perdas de água;
- 9) Retiraram-se os provetes do tabuleiro ao fim de 10 minutos, removendo-se a água superficial com um pano humedecido, e pesaram-se os provetes um por um registando-se a massa (M1) de cada um;
- 10) Repetiu-se o procedimento ao fim de 90 minutos;
- 11) Determinaram-se os coeficientes de absorção por capilaridade através de:

$$C = 0,1(M2 - M1) \text{ (kg/(m}^2\text{.min}^{0.5}\text{))} \quad (18)$$

4. RESULTADOS E ANÁLISE

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do trabalho, por fase do mesmo e procede-se à análise crítica dos mesmos.

4.1. Análise de resultados fase 1

Ao longo da fase 1 foram produzidas 13 argamassas com diferentes composições, abrangendo 6 argamassas com percentagem de areia substituída por serrim de 5% e outras 6 de 2%, e uma argamassa padrão com 0% de substituição de areia por serrim. Nas amassaduras com serrim foi variado o tipo de serrim utilizado, isto é, em cada uma delas foi utilizado um tratamento de serrim diferente tendo em vista verificar qual dos tratamentos foi mais eficaz na redução de incompatibilidade entre o cimento e as partículas de madeira. Para isso foram realizados ensaios de resistência à flexão e compressão aos 7 dias, e ensaios de determinação de consistência no estado fresco.

Foram ensaiados provetes sujeitos a dois tipos de condições de cura, provetes sujeitos a cura húmida (cujo acondicionamento foi feito por imersão em água) e cura seca (em ambiente a 20°C e humidade relativa 60 %).

4.1.1. Resultados de ensaio de espalhamento

Os resultados de espalhamento apresentados resultam da média das medições efetuadas em duas direções perpendiculares

Pela análise dos resultados apresentados no .Quadro - 9 constata-se que a amassadura com menor trabalhabilidade é a amassadura com substituição de 5% de areia por serrim lavado,

uma vez que esta amassadura se apresentou seca ao ponto de a argamassa não se espalhar, ocorrendo até desmoronamento do provete de prova no decorrer do ensaio.

.Quadro - 9 Resultados de ensaio de espalhamento (mm) Fase 1

Descrição	Espalhamento (mm) 5% Serrim	Espalhamento (mm) 2% Serrim
Padrão	177,5	
Serrim Normal	132,5	195
Serrim Lavado	-(*)	190
Serrim Fervido	187,5	207,5
Serrim Mineralizado	130	161
Serrim normal + 3% de Cloreto de Cálcio	147,5	157,5
Serrim Lavado com Cal	215	205

(*) Ensaio inválido uma vez que o prisma de argamassa foi se desfazendo ao longo do ensaio, apresentando-se a argamassa com pouca água.

A argamassa com maior fluidez ou espalhamento na mesa foi a argamassa com substituição de 5% da areia por serrim lavado com cal. Estes resultados podem dever-se ao facto de o serrim lavado com cal ter a maior humidade relativa e o serrim lavado com água a menor humidade, pelo que, ao ser adicionado serrim lavado com cal, para além da água adicionada, introduz-se também a humidade contida no serrim, pelo que a variação de humidade contida no serrim poderá ter influenciado a variação dos resultados de espalhamento.

Nas argamassas com serrim lavado com água o processo é inverso, a humidade do serrim é a menor, e portanto, é o tipo serrim que leva à maior adição de água extra nas amassaduras. Para além disso, estes valores verificam-se para a quantidade de serrim de 5%, e tal pode ter acontecido uma vez que é a maior percentagem de substituição e portanto quanto mais serrim existe nas amassaduras maior será a sua influência nas mesmas. Tal pode justificar, também, que, em geral, a trabalhabilidade aumenta com a diminuição da quantidade de serrim, pois o serrim tem grande capacidade de absorção e libertação de água. Como este não está saturado em nenhum dos casos, ao ser adicionado serrim à argamassa, este pode absorver parte da água presente na amassadura e esta absorção será tanto maior quanto maior a quantidade de serrim, dependendo da capacidade de absorção remanescente do serrim.

Com o uso de serrim lavado com cal o espalhamento foi maior para a percentagem de 5%, mas tal pode ter acontecido devido a este serrim apresentar a maior quantidade de humidade,

e, consequentemente, a menor capacidade para absorver água, e como possui humidade de cerca de 80%, pode ocorrer o mecanismo contrário, no desenrolar da amassadura este pode libertar água que contribuirá para maior trabalhabilidade.

Fazendo a análise por tipo de serrim, verifica-se que o serrim mineralizado leva a menores valores de espalhamento. Este aspeto pode ser justificado pelo facto de este serrim ter sido adicionado à amassadura seco e por este ter cimento a revestir as partículas de serrim, pelo que, ao invés de introduzir água adicional, parte desse cimento da superfície das partículas pode absorver água adicional para o fabrico da amassadura.

4.1.2. Resultados e análise de ensaio de resistência à flexão

Os resultados de resistência à flexão apresentados na Figura 32 correspondem ao valor médio obtido nos ensaios dos 3 provetes por argamassa.

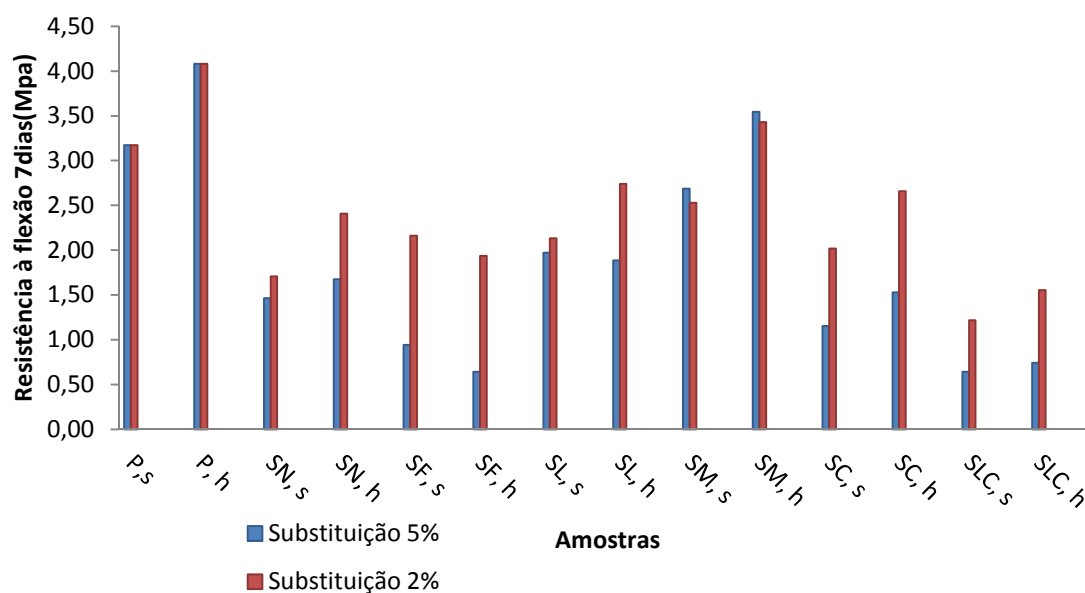


Figura 32 - Resistência à flexão 7 dias de idade (MPa)

Em que:

P,s – é a amostra padrão, sujeita a cura seca

P,h – é a amostra padrão, sujeita a cura húmida

SN,s – é a amostra com serrim normal, sujeita a cura seca

SN,h – é a amostra com serrim normal, sujeita a cura húmida

SF,s – é a amostra com serrim fervido, sujeita a cura seca

SF,h – é a amostra com serrim fervido, sujeita a cura húmida

SL,s – é a amostra com serrim lavado, sujeita a cura seca

SL,h – é a amostra com serrim lavado, sujeita a cura húmida

SM,s – é a amostra com serrim mineralizado, sujeita a cura seca

SM,h – é a amostra com serrim mineralizado, sujeita a cura húmida

SC,s – é a amostra com serrim normal e adição de cloreto de cálcio, sujeita a cura seca

SC,h – é a amostra com serrim normal e adição de cloreto de cálcio, sujeita a cura húmida

SLC,s – é a amostra com serrim lavado com cal, sujeita a cura seca

SLC,h – é a amostra com serrim lavado com cal, sujeita a cura húmida

Analisando a Figura 32 constata-se que no geral a substituição de areia por serrim, independentemente do tipo de tratamento a que foi sujeito, leva à diminuição da resistência à flexão e, para além disso, exceto para o serrim fervido e para 5% de serrim lavado, a cura que se mostra mais adequada é a cura por imersão em água.

Das amassaduras com serrim a que leva a menor diminuição na resistência à flexão é a amassadura com serrim mineralizado, o que já seria de esperar uma vez que as quantidades de serrim adicionadas foram adicionadas em peso, pelo que, em termos relativos, estas amostras possuem menor quantidade de serrim já que 5% de serrim mineralizado em peso corresponde ao peso do serrim mais o cimento que o envolve.

Para a percentagem de 2% de serrim verifica-se que a adição do catalisador permite obter melhorias nas resistências, o que não se verifica para a percentagem de 5%. Isto pode indicar que a percentagem de catalisador para a argamassa com 5% de serrim não é suficiente para contrariar o efeito de incompatibilidade provocado por este. No entanto, para a percentagem de serrim de 2%, a quantidade de catalisador utilizado mostra-se capaz de contrariar esse efeito.

Ainda da análise da Figura 32 é possível ver que os tratamentos efetuados ao serrim, excluindo a lavagem por água fria e a mineralização, agravaram a diminuição da resistência à flexão quando comparadas com a substituição com serrim normal, isto é, conforme recebido, sendo que os tratamentos mais prejudiciais a este nível são o ferver do serrim e a lavagem com solução de cal, tendo sido este último o tratamento mais prejudicial.

4.1.3. Resultados e análise de ensaio de resistência à compressão

Os resultados de resistência à compressão apresentados na Figura 33 são a média resultante do ensaio de 6 provetes por argamassa.

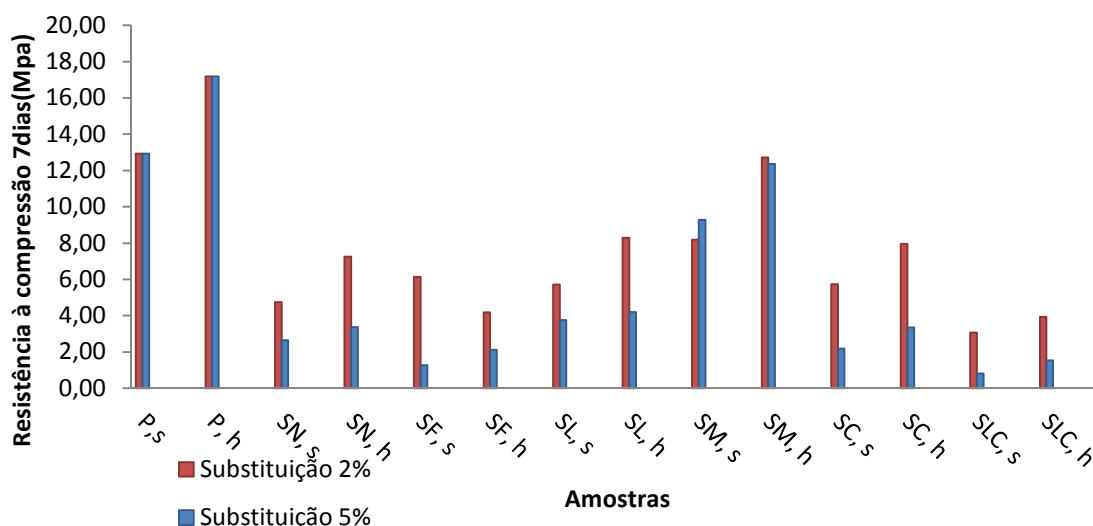


Figura 33 - Resistência à compressão aos 7 dias de idade (MPa)

Da mesma forma que se verificou para a resistência à flexão, verificou-se, também, uma diminuição da resistência à compressão com a substituição de areia por serrim. No entanto, para a compressão as diferenças foram maiores, estando a maioria dos valores de resistência à compressão das amassaduras com serrim abaixo de metade da resistência à compressão da argamassa padrão. Neste campo é verificado, também, que, no geral, a cura mais adequada a este tipo de provetes é a cura por imersão em água, mantendo-se a exceção relativamente à argamassa contendo serrim fervido.

Analisando o gráfico pode identificar-se que, da mesma forma e talvez pelo mesmo motivo a argamassa com serrim mineralizado apresenta a menor diminuição da resistência, mantendo-se o tratamento do serrim com água a ferver como mais prejudicial ao nível das resistências. No entanto, neste caso, a argamassa com serrim tratado por lavagem com solução de cal mostra resultados próximos da argamassa com serrim normal o que não se verificou no ensaio de flexão.

Tal como havia sido verificado ao nível da resistência à flexão o processo de tratamento que se mostra mais vantajoso, excetuando a mineralização é a lavagem com água fria.

Tal pode justificar-se pela remoção de elementos constituintes das partículas de madeira prejudiciais ao desenvolvimento de reações de presa, e consequentemente, ganho de resistência, de forma mais eficaz que os restantes tratamentos, exceto o caso da mineralização. Ou apenas pelo facto de este tipo de serrim apresentar a menor quantidade de humidade incorporada e logo a menor quantidade de água adicional na amassadura e, consequentemente, maior resistência.

O facto dos restantes tratamentos efetuados ao serrim não se refletirem depois nas resistências mecânicas, como desejado, pode estar relacionado com a baixa eficácia dos mesmos. Ou, por outro lado pode dever-se ao facto de a humidade variar entre o serrim de acordo com o tratamento, ou, então, à idade a que foram ensaiados os provetes a influência dos tratamentos poderia ainda não ser muito acentuada.

É de referir que a humidade é uma variável de difícil controlo e que tem influência nas referências mecânicas e a introdução do serrim nas argamassas pode levar a desenvolvimento de resistências em idades iniciais mais lento, no entanto este pode acentuar-se mais tarde.

Como se pode verificar, o tratamento de mineralização foi o processo que levou a menores diminuições das resistências, quer à flexão quer à compressão. No entanto, o uso deste tipo de serrim, mesmo assim, leva a diminuições das resistências mecânicas, pelo que não se mostra mais vantajoso, já que se utiliza cimento. Por outro lado, a quantidade de serrim realmente adicionada às argamassas deste tipo é menor que nas restantes já que se adiciona 5% do peso da areia de serrim mineralizado, peso esse que não é apenas serrim mas também cimento.

Quanto ao tipo de cura, para as resistências mecânicas, a cura por imersão em água mostra-se mais vantajosa. Tal acontece uma vez que o ambiente húmido é um ambiente privilegiado para o desenvolvimento de reações de presa do cimento, e o facto de as partículas de madeira serem de dimensões reduzidas pelo que a influência da água nas propriedades mecânicas das partículas, por se dar a uma escala reduzida, pode não ser significativo. E o facto de as substituições serem de percentagens reduzidas a quantidade de partículas de madeira na

argamassa pode não ser suficiente para contrariar o efeito das condições ideais de cura do cimento.

Resumindo, nesta primeira fase verificou-se que a substituição de areia por serrim levou à diminuição de resistências mecânicas. Assim, a potencialidade deste tipo de argamassa pode passar por materiais sem grandes exigências mecânicas, pelo que na segunda fase se direccionou o estudo para argamassas leves, não estruturais, sem grandes exigências mecânicas.

Da análise de resultados da primeira fase resulta ainda que o tipo de cura mais adequado aparenta ser a cura por imersão em água e o serrim que se apresenta mais vantajoso ao nível das propriedades mecânicas, será o serrim sujeito a lavagem por imersão em água fria.

4.2. Análise de resultados da fase 2

Ao longo da segunda fase de trabalhos foram feitas 20 argamassas com constituições diferentes, para as percentagens de serrim de 20, 15, 12.5, 10, 7.5, 5 %, e quantidades de cimento diferentes, C300, C400, C500 e C600. Para as percentagens de 15 e 20% foram feitas apenas as argamassas de C500 e C600, e C600 respetivamente, isto porque para C500 e 15% de serrim e C600 e 20% de serrim, verificou-se que não era cumprido o intervalo de espalhamento de 140 a 180 mm, uma vez que a adição de água provocou segregação sem melhorias na trabalhabilidade. Portanto, foram abandonadas as opções com menor quantidade de cimento, já que prejudicariam ainda mais a trabalhabilidade. Ficou fixada então a quantidade máxima de substituição de areia por serrim em 20%.

Para além destas argamassas foram feitas ainda mais duas constituições de 5% C200 e 5% C250, por se ter mostrado ao longo do estudo interesse nestas composições adicionais, como se verá à frente.

Nesta fase de ensaios foram executados ensaios de espalhamento, determinação do teor de ar, determinação da massa volúmica fresca, e determinação de resistência à compressão aos 7 dias, cujos resultados se apresentam de seguida.

Apresentam-se, também, os resultados da determinação da quantidade cimento por unidade de volume e a estimativa das resistências à compressão aos 28 dias.

O serrim utilizado para o fabrico destas argamassas foi o serrim lavado e a cura foi feita por imersão em água já que na primeira fase se verificou ser a mais adequada.

4.2.1. Resultados e análise de ensaio de espalhamento

Assim como na primeira fase os resultados de espalhamento, apresentados no Quadro - 10, são a média das medições feitas nos dois sentidos.

Quadro - 10 Resultados de ensaio de espalhamento fase 2 (mm)

Designação da Argamassa	Espalhamento (mm)
20-C600	120,0
15-C600	165,0
15-C500	132,5
12,5-C300	153,5
12,5-C400	155,0
12,5-C500	169,0
12,5-C600	150,0
10-C300	150,0
10-C400	155,0
10-C500	144,5
10-C600	169,0
7,5-C300	142,0
7,5-C400	162,5
7,5-C500	153,0
7,5-C600	179,0
5-C200	132,5
5-C250	147,5
5-C300	158,5
5-C400	165,5
5-C500	164,5
5-C600	172,5

Nesta fase, a determinação do espalhamento foi feita procurando que as argamassas cumprissem um intervalo de espalhamento entre 140-180mm. Como se pode ver pelo Quadro - 10, em todas as composições foi conseguido o cumprimento deste intervalo exceto na composição 20-C600 e 15-C500, e 5-C200. Para estas composições a adição de água levou a um aumento de segregação da argamassa sem melhorias de trabalhabilidade, isto é, existia água em excesso na argamassa que durante o ensaio de espalhamento se depositava em redor do molde, como mostra a Figura 34. Esta água em excesso ao movimentar-se provoca lavagem de constituintes da argamassa e, para além disso, aquando da execução do ensaio, o provete de argamassa manteve-se aproximadamente intacto sendo o espalhamento da argamassa muito reduzido.

Por este motivo, não foram feitas as restantes composições para estas percentagens (20 e 15%), já que estas apresentavam menores quantidades de cimento pelo que o efeito de segregação seria mais acentuado.



Figura 34 - Segregação da argamassa

Assim, é possível constatar que para as composições estudadas a máxima percentagem de serrim substituída é de 15%, para a quantidade de cimento de C600, apenas com percentagens de 12,5 ou inferiores de serrim se consegue efetuar as argamassas correspondentes a todas as quantidades de cimento estudadas, de C300 a C600, conseguindo que seja cumprido o intervalo de espalhamento previamente fixado.

Para a percentagem de 5%, verifica-se que existe a possibilidade de reduzir a quantidade de cimento até C250, cumprindo o intervalo de espalhamento, pretendido.

4.2.2. Resultados e análise de ensaio de determinação do teor em ar

Pela análise do Quadro - 11 pode constatar-se que o teor de ar das argamassas com serrim varia entre os 8,6 e 23%, existindo uma grande variação, esta variação pode dever-se às diferentes constituições das argamassas, já que estas variam em três aspetos: quantidade de serrim; quantidade de cimento; e quantidade de água.

Quadro - 11 Resultados de ensaio de determinação do teor em ar (%)

Designação da Argamassa	Teor de ar %
20-C600	8,6
15-C600	12,0
15-C500	10,5
12,5-C300	9,0
12,5-C400	15,0
12,5-C500	12,5
12,5-C600	10,0
10-C300	10,0
10-C400	18,5
10-C500	17,8
10-C600	23,0
7,5-C300	12,5
7,5-C400	14,0
7,5-C500	14,5
7,5-C600	12,25
5-C200	12,5
5-C250	13,0
5-C300	12,1
5-C400	15,0
5-C500	14,3
5-C600	10,5

4.2.3. Resultados e análise de ensaio de determinação da massa volúmica fresca

Recorrendo à determinação da massa volúmica fresca foi possível calcular a quantidade de cimento expressa em kg/m^3 .

Da análise do Quadro - 12 verifica-se que a massa volúmica no estado fresco das argamassas variou entre $1469,90 \text{ kg/m}^3$ e $1880,20 \text{ kg/m}^3$, em que o menor valor corresponde à composição 12,5-C400 e o maior à 5-C600. Embora se verifique um padrão irregular dos valores, consegue perceber-se um padrão de aumento de massa volúmica com a diminuição da quantidade de serrim presente na argamassa. Este resultado compreende-se pelo facto de o serrim apresentar menor massa volúmica que a areia que está a substituir.

Quadro - 12 Resultados de determinação da massa volúmica fresca e quantidade de cimento

Designação da Argamassa	Massa volúmica fresca (kg/m^3)	Quantidade de cimento (kg/m^3)
20-C600	1531,00	329,35
15-C600	1547,40	302,32
15-C500	1575,40	349,16
12,5-C300	1527,80	187,52
12,5-C400	1469,90	235,30
12,5-C500	1533,00	301,48
12,5-C600	1619,90	370,72
10-C300	1619,30	217,38
10-C400	1470,30	252,12
10-C500	1542,10	320,42
10-C600	1496,10	350,52
7,5-C300	1661,30	238,43
7,5-C400	1647,90	298,23
7,5-C500	1696,10	370,42
7,5-C600	1729,70	423,70
5-C200	1618,80	157,87
5-C250	1634,40	195,99
5-C300	1742,10	253,88
5-C400	1747,90	334,23
5-C500	1798,30	408,78
5-C600	1880,20	484,76

4.2.4. Resultados e Análise de Ensaio de Determinação de Resistência à Compressão

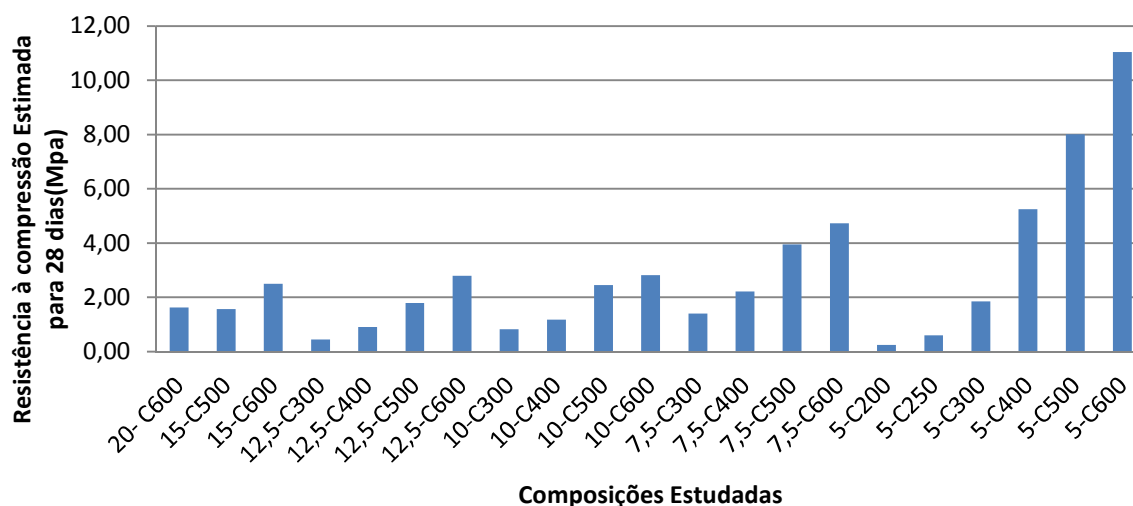


Figura 35 - Resistência estimada aos 28 dias de idade (MPa)

Na Figura 35 apresentam-se os resultados de resistência à compressão, aos 28 dias de idade das argamassas produzidas na fase 2.

Verifica-se pela análise da Figura 35 que resistências variam entre 0,24 MPa para a argamassa 5-C200 e 11,04 MPa para 5-C600, existindo várias argamassas bastante afastadas do valor de referência alvo de 1 MPa.

Nesta fase, foi calculada a quantidade de cimento por unidade de volume de argamassa, de forma a se poder ter um critério de decisão na seleção das argamassas a caracterizar na terceira fase. Os resultados são apresentados no

Quadro - 13:

Quadro - 13 Resistência à compressão aos 7 e 28 dias de idade

Designação da Argamassa	Resistência à compressão 7 dias (MPa)	Estimativa da Resistência à compressão 28 dias (MPa)	Quantidade de cimento (kg/m ³)
20-C600	1,11	1,62	329,35
15-C500	1,07	1,56	302,32
15-C600	1,71	2,50	349,16
12,5-C300	0,31	0,45	187,52
12,5-C400	0,62	0,91	235,30
12,5-C500	1,23	1,79	301,48
12,5-C600	1,91	2,80	370,72
10-C300	0,56	0,82	217,38
10-C400	0,81	1,18	252,12
10-C500	1,68	2,46	320,42
10-C600	1,92	2,81	350,52
7,5-C300	0,96	1,40	238,43
7,5-C400	1,52	2,22	298,23
7,5-C500	2,70	3,95	370,42
7,5-C600	3,23	4,73	423,70
5-C200	0,16	0,24	157,87
5-C250	0,41	0,60	195,99

5-C300	1,26	1,85	253,88
5-C400	3,59	5,25	334,23
5-C500	5,48	8,01	408,78
5-C600	7,55	11,04	484,76

A Figura 46 ilustra a variação da resistência à compressão com a variação da quantidade de cimento, para percentagens de substituição de serrim diferentes.

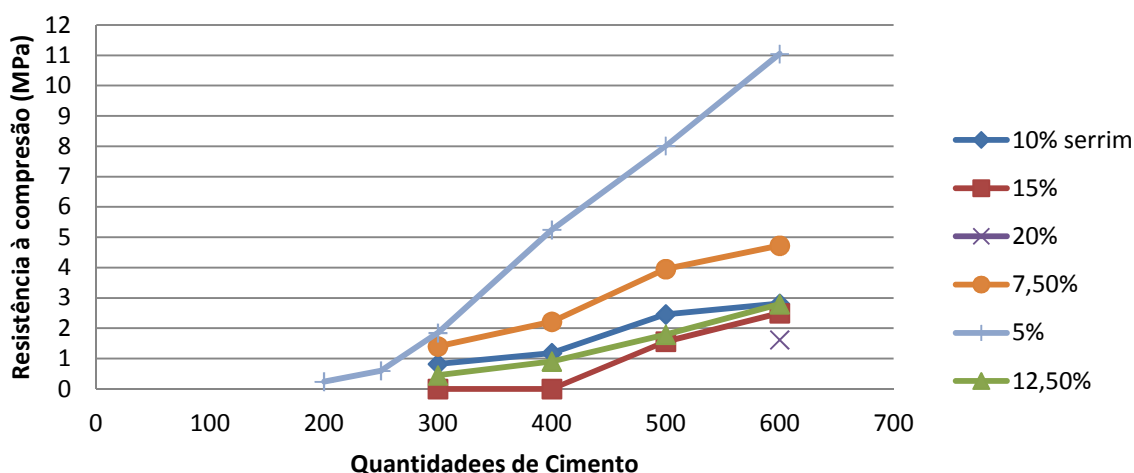


Figura 36 - Variação da resistência à compressão em função da quantidade de cimento

Da análise da Figura 36 constata-se que a resistência à compressão aumenta com o aumento da quantidade de cimento, verificando-se que a maior variação da resistência com a variação da quantidade de cimento se dá para a percentagem de substituição de 5%.

Sendo que quanto menor a percentagem de serrim maior é a variação das resistências mecânicas com a variação da quantidade de cimento.

Na Figura 37 é apresentada a variação da resistência à compressão com o aumento da percentagem de agregados substituídos por serrim, para diferentes quantidades de cimento.

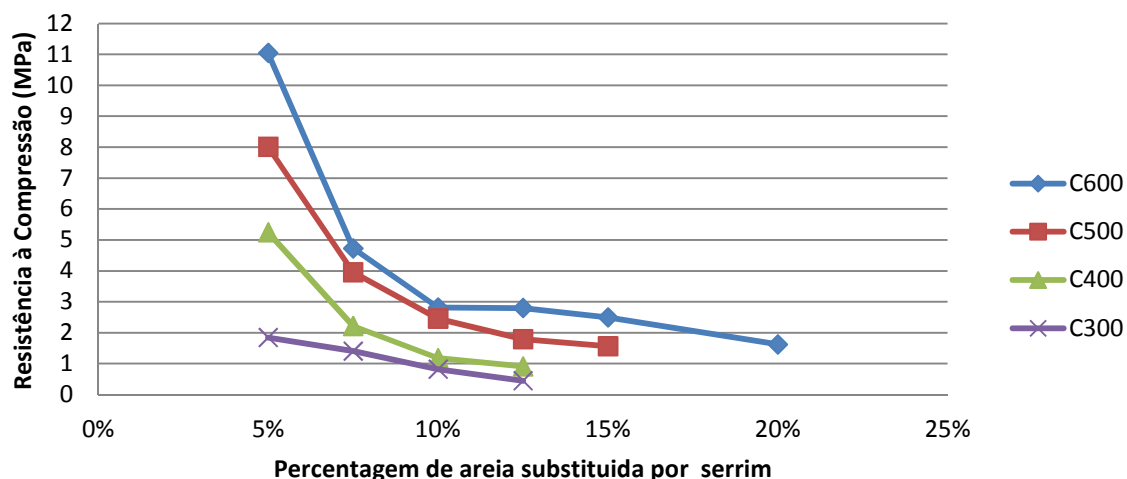


Figura 37 - Variação da resistência à compressão em função do aumento de agregados substituídos por serrim

A resistência à compressão diminui à medida que aumenta a percentagem de areia substituída por serrim. Verifica-se pela análise da Figura 36 que quanto maior a quantidade de cimento maior é a variação na resistência à compressão, com o aumento da percentagem de areia substituída.

As composições com menor massa volúmica e cuja resistência mecânica não se distancia muito de 1MPa e para além disso cumpre o intervalo de espalhamento são as composições 10-C300, 12,5-C400, 7,5-C300, e 5-C300. Destas quatro composições serão analisadas, na terceira fase, a primeira pelo facto de apresentar menor quantidade de cimento por unidade de volume. Entre a segunda e a terceira, optou-se pela terceira já que a diferença de quantidade de cimento por unidade de volume é reduzida, mas a diferença de resistência é significativamente superior nesta última. A terceira composição a estudar seria a 12,5-C400 por se mostrar mais vantajosa que a 5-C300 em termos de quantidade de cimento. No entanto, decidiu-se ficar apenas pela seleção das duas composições já justificadas e, dado que para a composição 5-C300 ainda existe folga de resistência mecânica foram produzidas duas composições adicionais na tentativa de baixar a quantidade de cimento por unidade de volume, sendo elas 5-C200 ou 5-C250. Porém, o serrim proveniente da primeira lavagem acabou, pelo que se procedeu antecipadamente a uma segunda lavagem de serrim e estas duas amassaduras produzidas já com este novo serrim, o que poderá ter influenciado os resultados que foram bastante menores que 1 MPa, verificando-se uma diminuição da resistência com a

diminuição da quantidade de cimento mais acentuada que nas restantes composições. Pelo que a escolha da terceira composição ficou inviável.

No âmbito do ensaio de resistência à compressão pode verificar-se que após a rotura as partes dos provetes se mantinham interligadas através das fibras pelo que a rotura, não foi frágil mas sim mais dúctil que a argamassa padrão da primeira fase. A Figura 38 mostra este comportamento:

Na primeira imagem (Figura 38(1)) está ilustrado um provete que entrou em rotura. No entanto, a face lateral encontra-se ligada ao provete pela ação das fibras. Na Figura 38(2) percebe-se que o provete sofreu uma variação dimensional, sendo perceptível que parte do provete deslizou sobre a outra parte como duas cunhas.

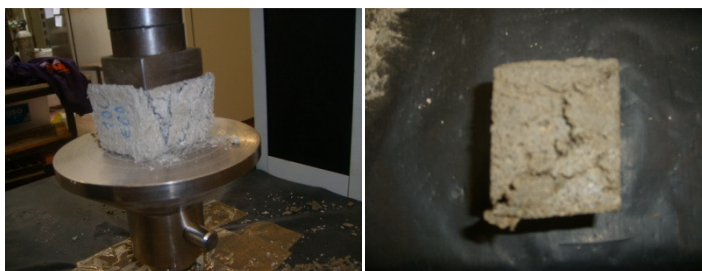


Figura 38 - Rotura de provete (1) e variação dimensional do provete devido à aplicação da carga (2)

4.3. Análise de resultados fase 3

4.3.1. Resultados e análise de ensaio de espalhamento

O Quadro - 14 apresenta os resultados do ensaio de espalhamento da fase 3:

Quadro - 14 Resultados ensaio de espalhamento fase 3 (mm)

Amassaduras	Espalhamento (mm)
-------------	-------------------

	Fase 2	Fase 3
7,5-C300	142,0	144,0
10-C300	150,0	146,5

Os resultados de espalhamento, desta fase, variam em relação à fase anterior, mesmo com as correções de quantidade de água efetuadas. No entanto, a variação foi reduzida.

4.3.2. Resultados e Análise de Ensaio de Determinação do Teor de Ar

Ao nível do teor de ar das argamassas existe um aumento do teor de ar da fase 2 para a fase 3, e para as mesmas composições sendo que a maior variação ocorre para a composição 10-C300. Estas diferenças podem estar relacionadas com o tipo de serrim, pois podem ter ocorrido diferenças no grau de lavagem do mesmo. Para além disso, a humidade dos dois serrins é diferente e mesmo com as correções efetuadas a este nível, pode ter contribuído para a variação.

Quadro - 15 Resultados de ensaio de teor de ar fase 3 (%)

Amassaduras	Teor em ar (%)	
	Fase 2	Fase 3
7,5-C300	10	11,5
10-C300	12,5	17

4.3.3. Resultados e Análise do Ensaio de Determinação da Massa Volúmica Fresca

Quadro - 16 Determinação da massa volúmica no estado fresco (kg/m^3)

Amassaduras	Massa volúmica (kg/m^3)
-------------	------------------------------------

	Fase 2	Fase 3
7,5-C300	1661,3	1587,3
10-C300	1619,3	1600,7

Da análise do quadro acima verifica-se uma diminuição da massa volúmica no estado fresco, entre as duas fases do trabalho, o que se compreende devido ao aumento do teor de ar nas mesmas.

4.3.4. Resultados e Análise de Ensaio de Determinação de Resistência à Compressão

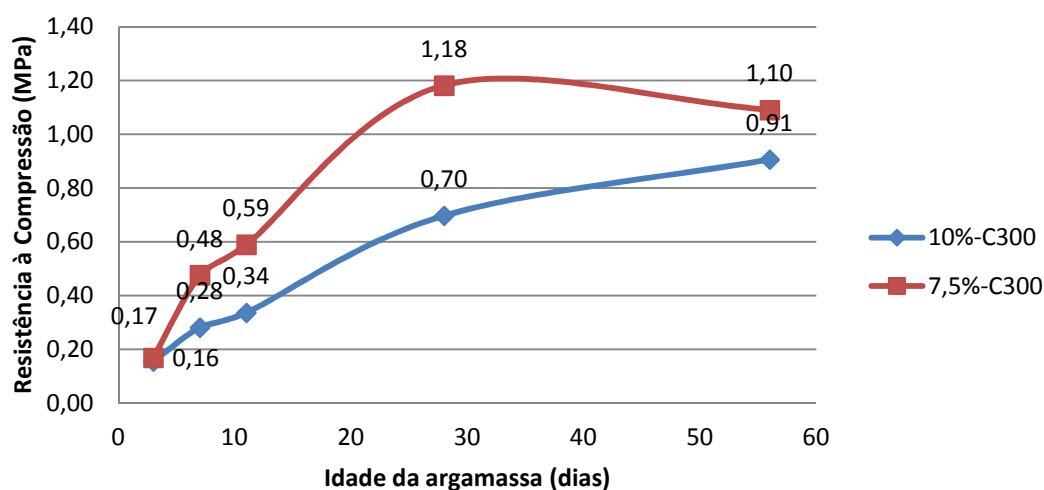


Figura 39 - Evolução da resistência mecânica (MPa) ao longo do tempo (dias)

Analisando a Figura 39, representativa da evolução da resistência à compressão, ao longo do tempo (em dias), constata-se que as resistências iniciais de ambas as composições são semelhantes e muito reduzidas de cerca de 0,17 MPa. Entre os 3 e os 7 dias verifica-se uma progressão significativa das resistências, mais acentuada para a composição 7,5-C300.

Verifica-se, também, que as resistências reais aos 28 dias determinadas nesta fase são inferiores às estimadas para a fase anterior, com a composição 10-C300 a obter 0,7 MPa de resistência consideravelmente abaixo do valor de referência de 1 MPa. A mudança do serrim

ou a diferença entre o método pelo qual foram estimadas as resistências e a realidade pode ter condicionado os resultados obtidos.

A verificação de menores resistências à compressão para a composição de 10-C300 pode dever-se à maior quantidade de serrim desta argamassa, ou à maior razão A/C, de 1,29 comparada com a da composição de 7,5-C300 de 1,0 ou ambos. Sendo que este último aspeto talvez pudesse justificar a progressão mais acentuada das resistências na composição 7,5-C300.

Aos 56 dias verifica-se uma pequena diminuição da resistência mecânica para a composição 7,5-C300, enquanto para a composição 10-C300 se verifica um aumento da mesma.

4.3.5. Resultados e análise do ensaio de determinação de resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi realizado à idade de 35 dias. Os resultados obtidos são os descritos no Quadro - 17.

Quadro - 17 Resultados de ensaio de resistência à tração por compressão diametral

Amassadura	Provetes	Massa (g)	Resistência à tração		Resistência à tração (MPa)
			35dias(N)	Média (N)	
10-C300	A	285,3	1366,3	1286,53	0,18
	B	286,9	1193,6		
	C	283,9	1299,7		
7,5- C300	A	286,4	2729,1	2387,93	0,34
	B	275,7	2078,4		
	C	274,4	2356,3		

As resistências à tração são reduzidas. Constata-se que a resistência à tração é bastante menor na composição 10-C300, de cerca de 0,18 MPa, comparada com 0,34 MPa para a composição de 7,5- C300. É possível que o aumento da quantidade de serrim leve a uma diminuição das propriedades de resistência à tração, ou, por outro lado, esta diminuição pode dever-se à

existência de maior razão A/C na amassadura 10-C300 (1,29), do que na composição 7,5-C300 (1,0) tal como havia sido referido ao nível das resistências à compressão.

4.3.6. Resultados e Análise do Ensaio de Determinação da Massa Volúmica no Estado Endurecido

Este ensaio foi de elevado interesse já que um dos objetivos é avaliar a potencialidade deste tipo de argamassas para o fabrico de elementos leves, ou utilização como enchimentos mais leves que os convencionais.

Quadro - 18 Resultados de determinação da massa volúmica no estado endurecido

Amassaduras	Massa provete saturado ($m_{s,sat}$)		Massa hidrostática ($m_{s,i}$)		Massa provete seco ($m_{s,dry}$)		Volume (m^3)	Massa volúmica (kg/m^3)
	(g)	Média Pesagens (kg)	(g)	Média Pesagens (kg)	(g)	Média Pesagens (kg)		
7,5-C300	200,2	0,2004	72,1	0,0717	153,5	0,1531	$1,29 \times 10^{(-4)}$	1190
	200,8		71,1		153			
	200,3		72		152,8			
10-C300	212,8	0,2121	85,4	0,0845	157,7	0,1579	$1,28 \times 10^{(-4)}$	1237
	208,5		81,6		156			
	215,1		86,5		160,1			

Os resultados obtidos neste ensaio demonstraram uma grande diminuição da massa volúmica deste tipo de argamassas quando comparadas com os valores de argamassas convencionais de cimento, verificando-se uma diminuição de cerca de 50% dos valores mencionados como referência, de 2000 e 2200 kg/m^3 .

É possível verificar que a composição 7,5-C300 apresenta menor massa volúmica no estado endurecido do que a composição 10-C300. Seria de esperar que, por apresentar maior

percentagem de serrim e maior teor de ar a argamassa, 10-C300 apresentasse menor massa volúmica no estado endurecido, no entanto verificou-se o contrário.

4.3.7. Resultados e análise do ensaio de determinação de absorção de água por imersão

De forma a caracterizar o comportamento destas argamassas devido à presença de água, isto é, a sua capacidade de absorção de água, de forma a relacionar a mesma com a porosidade das composições, efetuou-se o ensaio de determinação da capacidade de absorção das mesmas, cujos resultados se encontram explanados no Quadro - 19

Quadro - 19 Resultados de determinação da absorção de água por imersão

Amassaduras	Massa provete saturado (m1)		Massa hidrostática (m2)		Massa provete seco (m2)		Absorção de água por imersão(%)
	(g)	Média Pesagens	(g)	Média Pesagens	(g)	Média Pesagens	
7,5-C300	200,2	200,43	72,1	71,73	153,5	153,10	36,8
	200,8		71,1		153		
	200,3		72		152,8		
10-C300	212,8	212,13	85,4	84,50	157,7	157,93	42,5
	208,5		81,6		156		
	215,1		86,5		160,1		

Este tipo de argamassas apresenta, de acordo com estes resultados, grande porosidade aberta, podendo ser constatado que a amostra com maior percentagem de serrim apresenta também a maior capacidade de absorção de água. Como se sabe o serrim tem grande capacidade de absorção de água, pelo que a existência de mais serrim poderá justificar estes resultados.

4.3.8. Resultados e Análise do Ensaio de Determinação de Absorção de Água por Capilaridade

Procedeu-se, também, à caracterização das composições à absorção de água por capilaridade encontrando-se os resultados explanados no Quadro - 20:.

Quadro - 20 Resultados de determinação absorção de água por capilaridade

Amostra	M1	M2	C (kg/(m ² .min ^{0.5}))	C médio (kg/(m ² .min ^{0.5}))
10-C300	175,9	188,8	1,29	1,38
	147,7	162,8	1,51	
	158,8	172,2	1,34	
7,5-C300	154,8	162,5	0,77	0,72
	186,1	193,4	0,73	
	169,7	176,3	0,66	

Em que:

M1- massa dos provetes ao fim de 10 imersos em água

M2- massa dos provetes ao fim de 90 imersos em água

$C=0,1(M2-M1)$ (kg/m².min^{0.5}) -coeficiente de absorção de água por capilaridade

Constata-se que, tal como no ensaio de absorção de água por imersão, existe a mesma tendência neste ensaio, com a argamassa 10-C300 a apresentar maior capacidade de absorção. Da mesma forma que no ensaio anterior é possível que a justificação seja a mesma, isto é a maior capacidade de absorção pode dever-se à maior quantidade de serrim, isto porque as partículas de serrim podem funcionar como meio de transferência e transporte capilar da água

5. CONCLUSÕES

As principais conclusões obtidas deste trabalho foram que a incorporação de serrim em argamassas, substituindo parte dos agregados por este, leva à diminuição das resistências à flexão e compressão, mesmo para percentagens de substituição reduzidas. Com isto concluiu-se o uso deste tipo de compósito madeira-cimento não poderá ser utilizado em elementos com fins estruturais como betões.

Neste estudo conclui-se que a incorporação de serrim em produtos de matriz cimentícia poderá ser aplicado a elementos com exigências mecânicas mais modestas, como é o caso de argamassas ou betonilhas de enchimento, com a vantagem de apresentarem massa volúmica inferior que produtos tradicionais das mesmas.

Este trabalho permitiu concluir que a incorporação do serrim nas argamassas permite reduzir a massa volúmica das mesmas, podendo existir potencialidade deste tipo de argamassas no âmbito de produtos cimentícios leves.

O serrim deverá ser utilizado no estado húmido, uma vez que a utilização deste seco se mostrou inviável.

A lavagem por imersão em água fria e a mineralização, dos processos de tratamento analisados, foram os mais vantajosos ao nível das resistências mecânicas, quando comparados com as argamassas feitas com serrim não tratado. No entanto, a mineralização não mostrou vantagem ao nível económico já que seria gasta uma maior quantidade de cimento, que, mesmo assim levaria à diminuição de resistências mecânicas, quando comparado com a argamassa padrão. Concluindo-se que o processo de lavagem por água fria, mostrou ser o mais vantajoso.

Os tratamentos de lavagem por imersão em água fervente, e por lavagem com solução de cal não produziram o efeito desejado, levando mesmo a resistências mecânicas menores que as verificadas com o uso de serrim não tratado.

Neste estudo, verificou-se que a influência da substituição de areia por serrim é mais notória ao nível da resistência à compressão que ao nível da resistência à flexão. Isto, porque, para a resistência à compressão, as resistências variam entre 0,82 e 17,17 MPa, enquanto que ao nível de flexão a variação de resistências se situa entre 0,64 e 4,08 MPa. Para além disso ao nível de resistências à compressão, a maioria dos valores se situa abaixo de metade da resistência à compressão da argamassa padrão.

Dos tipos de cura analisados, conclui-se que a cura mais adequada ao acondicionamento dos provetes até à execução dos ensaios foi a cura por imersão em água.

Na segunda fase concluiu-se que para a máxima quantidade de cimento estudada, C600, a quantidade máxima de areia substituível por serrim, das percentagens estudadas, de forma que seja garantido um intervalo de espalhamento de 140 a 180 mm, é de 15%. Para a quantidade de C500 a percentagem é de 12,5%, isto é, apenas para esta percentagem, ou percentagens menores, se consegue efetuar as amassaduras com todas as quantidades de cimento estudadas, cumprindo o intervalo de espalhamento.

Para a percentagem de 5% de serrim, conclui-se que é ainda possível reduzir a quantidade de cimento para C250 cumprindo o intervalo de espalhamento definido.

Neste estudo, ficou demonstrado que o aumento da quantidade de areia substituída por serrim leva à diminuição da massa volúmica no estado fresco. Para além disso, verificou-se também que a resistência à compressão aumenta com quantidade de cimento utilizada e diminui à quantidade de areia substituída por serrim.

A presença das fibras de madeira, ou serrim, na argamassa apesar de diminuir a resistência à compressão da mesma melhorou a sua ductilidade.

A resistência à compressão e à tração por compressão diametral são menores para a composição de 10-C300, talvez devido à maior quantidade de serrim na argamassa ou à maior razão A/C, ou ambos.

Neste trabalho, chegou-se à conclusão que as argamassas com substituição de areia por serrim analisadas de 7,5-C300 e 10-C300, apresentam grande potencialidade ao nível de diminuição das cargas devido ao peso que estas representam já que nestas duas composições

se verificou uma diminuição considerável da massa volúmica no estado endurecido. Pelo que estas argamassas podem ser utilizadas para enchimentos, sem grandes exigências mecânicas, com a vantagem de permitir a redução das cargas transmitidas à estrutura.

Ao nível do comportamento deste tipo de argamassas em relação porosidade verifica-se que a amostra com maior percentagem de serrim 10-C300 apresenta maior capacidade de absorção de água por imersão, de 42,5%, quando comparado com 36,8 da composição 7,5-C300. O que poderá ser justificado devido à maior quantidade de serrim e devido à sua grande capacidade de absorção, de cerca de 3 vezes o seu peso. Pelo que se poderá concluir que quanto maior a quantidade de serrim na argamassa maior a sua capacidade de absorção de água por imersão.

Quanto à absorção de água por capilaridade conclui-se que da mesma forma ao verificado para a imersão, a composição com maior percentagem de serrim leva a maior coeficiente de capilaridade de 1,38 ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0.5})$) para 0,72 ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0.5})$) para a composição de 7,5-C300. A presença de serrim na argamassa com grande capacidade de absorção pode funcionar como a existência de poros na argamassa, funcionando como o meio de transporte capilar da água na argamassa.

Este trabalho representa o estudo inicial do tema, existindo ainda muitas variáveis que podem ser estudadas acerca deste conceito. Nomeadamente, a caracterização ao nível térmico e acústico deste tipo de argamassas, já que a incorporação do serrim nas mesmas pode alterar o seu comportamento de forma vantajosa, uma vez que a madeira apresenta características que podem favorecer este tipo argamassas ao reduzir a condutibilidade térmica e acústicas.

A avaliação ao nível da sustentabilidade, englobando análise de viabilidade económica, do uso do serrim como matéria-prima para o fabrico de argamassa, a vertente ambiental, com a análise ao nível do potencial de valorizar este tipo de resíduo nesta aplicação, quando comparado com outros fins, e ao nível da energia incorporada nas argamassas.

A seleção de outro tipo de ligante, com menor energia incorporada, de forma a salientar a vertente de sustentabilidade, como o gesso, ou com características de ganho rápido de resistências iniciais, neste caso tendo em vista a contrariar o efeito de incompatibilidade entre o ligante e as partículas de madeira, ou o uso de ligante de maior classe de resistência seria interessante de forma a explorar todas estas vertentes.

Para além disso poder-se ia explorar uma vertente de fabrico de compósito madeira-cimento através de prensagem, se a existência de equipamento para o efeito o permitisse, podendo se explorar a capacidade deste tipo de compósito sem existência de agregado, apenas com serrim e ligante. Podendo hipoteticamente evidenciar-se as características intrínsecas da madeira como a sua leveza e a sua capacidade de isolamento quer térmico quer acústicos.

De forma geral os objetivos desta dissertação foram atingidos sendo apresentadas neste trabalho conclusões base para o potencial desenvolvimento de um compósito madeira-cimento, ao nível de argamassas, com constatações ao nível do mesmo acerca de diversos parâmetros e variáveis estudadas, quer ao nível de caracterização de comportamento mecânico, de porosidade e de determinação de massa volúmica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Documentos referenciados

- Camões, A. 2003, Caracterização experimental do Betão Leve “BETESPUMA”, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães
- Carvalho, A. 1997, Madeiras Portuguesas: Estrutura anatómica. Propriedades. Utilizações, Volume I, Direção Geral das Florestas, Lisboa
- Carvalho, A. 1997, Madeiras Portuguesas: Estrutura anatómica. Propriedades. Utilizações, Volume II, Direção Geral das Florestas, Lisboa.
- Correia dos Reis, A. & Brazão Farinha, M., & Brazão Farinha, J. P. 2010, TABELAS TÉCNICAS, Edições técnicas E. T. L. Lda, Lisboa
- Costa, J. 2011, Influência da água no comportamento de madeiras resinosas, Estado do Conhecimento, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães
- Forest Products Laboratory, 2010, Wood Handbook, Forest Products Laboratory, United States Department of Agriculture Forest Service, Wisconsin
- Jalali, S., 1999, Relatório , Instituto de Desenvolvimento e Inovação Tecnológica do Minho, Braga
- Machado, J 2005, Placas Derivadas de Madeira, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil(LNEC)

- Simatupang, 1987 *apud* Simatupang, M. H. 1989, Mineral-Bonded wood Composites, in Concise Encyclopedia of Wood and Wood-Based Materials, Ed. A.P. Schniewind, Pergamon Press, pp.196-201
- Simatupang, M. H. 1989, Mineral-Bonded wood Composites, in Concise Encyclopedia of Wood and Wood-Based Materials, Ed. A.P. Schniewind, Pergamon Press, pp.196-201

Documentos normativos

- Especificação LNEC E 394-1993, Betões: *Determinação da absorção de água por imersão*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal, 1993
- European Standard EN 1015-10, *Methods of test for mortar for masonry- Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar*, Bruxelas, 1999
- European Standard EN 1015-11, *Methods of test for mortar for masonry- Part 11: Determination of flexure and compressive strength of hardened mortar*, Bruxelas, 1999
- European Standard EN 1015-18, *Methods of test for mortar for masonry- Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar*, Bruxelas, 2002
- European Standard EN 1015-3, *Methods of test for mortar for masonry- Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*, Bruxelas, 2004
- European Standard EN 1015-7, *Methods of test for mortar for masonry- Part 7: Determination of air content of fresh mortar*, Bruxelas, 1998
- Norma Portuguesa Definitiva NP- 954, *Inertes para Argamassas e Betões: Determinação das massas volúmicas e da absorção de água de areias*, Lisboa, 1973

- Norma Portuguesa NP EN 12390-6, *Ensaaios do betão endurecido, Parte 6: Resistência à tração por compressão dos provetes*, 2ª Edição, 2011
- Norma Portuguesa NP EN 196-1, *Ensaaios de cimentos, Parte 1: Determinação de resistências mecânicas*, 3ª Edição, 2006
- Norma Portuguesa NP EN 1992-1-2, *Projeto de estruturas de betão: Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios*, Bruxelas 2010
- Norma Portuguesa NP EN 933-1, *Ensaaios das propriedades geométricas dos agregados, Parte 1: Análise granulométrica - Método de peneiração*, 2000

Lista de Sites Consultados:

- AIMMP, 2007, Introdução à prevenção de resíduos na Indústria de Madeira e Mobiliário, Leiria, Escola Superior de Tecnologia e Gestão.
Recolhido em 28 de Novembro de 2011 de
http://preresi.ineti.pt/documentacao/artigos/MMob/14h25_-_AIMMP.pdf
- AIMMP, 2009, A Fileira da Madeira e Mobiliário em Portugal
Recolhido em 28 de Novembro de 2011 de
<http://www.aimmp.pt/DOCUMENTOS/dados-sectoriais-2009.pdf>
- Aro, M. 2008, WOOD STRAND BOARD, 11th International Inorganic-Bonded Fiber Composites Conferences, Madrid, Espanha
Recolhido em 3 de Janeiro de 2012 de
<http://www.eltomation.com/Publications/Aro-wood-strand-cement.pdf>
- Beraldo *apud* Mori, F. , Lopes , Y. , Mendes, L., Latorraca, J. 2007, Estudo da Compatibilidade entre a Madeira e as Cascas de Eucalyptus Grandis e Cimento Portland, Ciência Florestal, Volume 17, número 003, Universidade Federal de Santa Maria
Recolhido em 3 de Janeiro de 2012, de :

<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/534/53417308.pdf>

- Bilba, K., Arsene, M-A, Ouensanga, A. 2000, Sugar cane bagasse fibre reinforced cement composites. Part I. Influence of the botanical components of bagasse on the setting of bagasse/cement composite, in Cement and Concrete Composites, ELSEVIER,

Recolhido em 2 de Janeiro de 2012 de

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ImageURL&_cid=271643&_user=2459786&_pii=S0958946502000033&_check=y&_origin=&_coverDate=31-Jan-2003&view=c&wchp=dGLbVlk-zSkzk&md5=5e79692641c2957743899b8c784c44af/1-s2.0-S0958946502000033-main.pdf

- Brown, T., n.d, Basic Wood Properties

Recolhido em 1 de Outubro de 2012 de :

- <http://www.cof.orst.edu/cof/teach/for111/Brown%20lectures/Basic%20Wood%20Properties.pdf>

- CONTRAVEN, n.d., BETESPUMA, O betão leve-Enchimento e Isolamento de lajes, Catálogo

Recolhido em 8 DE Agosto de 2012 de :

<http://contraven.altodebito.pt/?lop=conteudo&op=6512bd43d9caa6e02c990b0a82652dca&id=e369853df766fa44e1ed0ff613f563bd>

- Dicafe, F. 2008, A madeira na história.

Recolhido em 28 de Novembro de 2011 de

<http://portaldamadeira.blogspot.com/2008/12/madeira-na-historia.html>

- Dicafe, F. 2009, Espécies de Madeira – Madeira de Pinho marítimo, Portal da madeira
- Recolhido em 30 de Março de 2012 de:

<http://portaldamadeira.blogspot.pt/2009/10/especies-de-madeira-pinho-maritimo.html>

- Farm Forest line, 2009, Wood growth and structure,
Consultado em 1 de Outubro de 2012 em:
<http://www.farmforestline.com.au/index.html>
- Gazola, A. P., 2007, Argamassas de assentamento e revestimento Fabricadas com Compósito de Cimento- Madeira: Serragem de Madeira de *Pinus Taeda*, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão.
Recolhido em 24 de Abril, 2012 de :
http://portal2.unisul.br/content/navitacontent_/userFiles/File/pagina_dos_cursos/Engenharia_Civil_Tubarao/TCC-_Ana_Paula_Gazola.pdf
- Gutiérrez, R. M. Díaz, L. N., Delvasto, S. 2005, Effect of pozzolans on the performance of fiber-reinforced mortars, Cement & Concrete Composites 27 (2005) 593–598, ELSEVIER
Recolhido em 4 de Janeiro de 2012 de
http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ImageURL&_cid=271643&_user=2459786&_pii=S0958946504001507&_check=y&_origin=&_coverDate=31-May-2005&view=c&wchp=dGLbVBA-zSkzV&md5=f0898a6fcd85c152da1ff00071f4f96/1-s2.0-S0958946504001507-main.pdf
- INETI(Instituto Nacional De Engenharia e Tecnologia Industrial) ,2000, Guia técnico do Sector da Industria da madeira e do mobiliário, Lisboa
Recolhido em 28 de Novembro de 2011 de
http://netresiduos.trace.pt/resources/docs/guias_sectoriais/madeira_mobiliario/sectoriindustriamadeiraemobiliario.pdf
- Izquierdo, I. , 2011, Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos,
Recolhido em 26 de Junho de 2012 de :
<https://www.google.com/url?q=http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-05042011->

[164738/publico/2011ME_IndaraSotoIzquierdo.pdf&sa=U&ei=8BDqT8OvAuH80QX26rSFAQ&ved=0CAUQFjAA&client=internal-uds-cse&usg=AFQjCNHuvZgJRv76Q54Q_AZHY_jH6elMRw](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivo_s/conhecimento/bnset/set805.pdf)

- Jaako Pöyry *in* Roque, C e Valença A 1998, Painéis de madeira Aglomerada.
Recolhido em 28 de Novembro de 2011 de
http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivo_s/conhecimento/bnset/set805.pdf
- Jorge, F., Pereira, C. & Ferreira, J. 2004, Wood-cement composites: A Review, Springer
Recolhido em 17 de Novembro de 2011, de :
<http://www.springerlink.com/content/au6dh2qtvycpc65x/fulltext.pdf>
- Klock, U., Muñiz G., Hernandez J., Andrade A., 2005, Química da Madeira, Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, 3ª Edição, Curitiba
Recolhido em 1 de Outubro de 2005 de:
<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/quimicadamadeira.pdf>
- Lança, P. n. d., Ligantes, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Beja, Beja
Recolhido em 24 Abril de 2012 de:
http://www.estig.ipbeja.pt/~pdnl/Sub-paginas/MatConst_apoio_files/ppt/ligantes2.pdf
- Lopes, D. 2003, Derivados da Madeira.
Recolhido em 28 de Novembro de 2011 de
http://www.dec.isep.ipp.pt/duarte/pdf/3ProjectosInvestigacao_Artg_Arq_Vida_Derivados_v6.pdf
- Michaelis, 2009, Moderno, dicionário da Língua Portuguesa, madeira.

Consultado em 1 de Outubro de 2012 em:

<http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php?lingua=portugues-portugues&palavra=madeira>

- Picanço, M. S., 2005, Compósitos cimentícios reforçados com fibras de Curauá, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro
Recolhido em 25 de Junho de 2012 de:
http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/8936/8936_3.PDF
- Picanço, M. S., Ghavami, Khosrow, 2008, Comportamento à compressão de argamassas reforçadas com fibras vegetais da Amazônia, Engenharia Civil, REM-Revista Escola de Minas, Janeiro/Março, Ouro Preto
Recolhido em 21 Junho de 2012 de:
<http://www.scielo.br/pdf/rem/v61n1/a03v61n1.pdf>
- Pimentel, A . 2000, Telhas Onduladas à base de Cimento Portland e Resíduos de *Pinus Caribea*, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo
Recolhido no dia 17 de Novembro de 2011 de
<http://cutter.unicamp.br/document/?code=vtls000219675>
- Savastano Junior, H., Pimentel L. L. , 2000, VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE FIBRAS VEGETAIS PARA OBTENÇÃO DE MATERIAL DE CONSTRUÇÃO , Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental, v.4, nº1, p.103-110, Campina Grande
Recolhido em 25 Junho de 2012 de:
<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v4n1/v4n1a19.pdf>
- Santos, A. 2007, Estudo de modelos e caracterização do comportamento mecânico da madeira, Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Minho, Guimarães
Recolhido em 21 de Agosto de 2012 de

<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/9696>

- Savastano, H., Warden, P., Coutts, R. 2000, Brazilian waste Fibers as reinforcement for cement-based composites, Cement and Concrete Composites, 22, 379-384, ELSEVIER

Recolhido em 3 de Janeiro de 2012 de

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MiamiImageURL&_cid=271643&_user=2459786&_pii=S0958946500000342&_check=y&_origin=&_coverDate=31-Oct-2000&view=c&wchp=dGLbVlt-zSkzk&md5=8ab85c087cb5bd9ca99e343c34f405aa/1-s2.0-S0958946500000342-main.pdf

- Savastano, H., Warden, P. , Coutts, R. 2003, Mechanically pulped sisal as reinforcement in cementitious matrices, Cement and Concrete Composites, 25, 311–319, ELSEVIER

Recolhido em 3 de Janeiro de 2012 de

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MiamiImageURL&_cid=271643&_user=2459786&_pii=S0958946502000550&_check=y&_origin=&_coverDate=30-Apr-2003&view=c&wchp=dGLbVBA-zSkzS&md5=9b97a253ca6882b1b4bd0d27b584141d/1-s2.0-S0958946502000550-main.pdf

- Silva, A. n. d., Cloreto de Cálcio, Infoescola

Recolhido em 23 de Junho de 2012 de:

<http://www.infoescola.com/compostos-quimicos/cloreto-de-calcio/>

- Silva, F. A. , 2004, Tenacidade de Materiais Compósitos Não Convencionais, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

Recolhido em 25 de Junho de 2012 de:

http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/5271/5271_1.PDF

- Society of wood Science and Technology, n.d., Properties of wood, Teaching Unit Number 2
Recolhido em 1 de Outubro de 2012 de:
<http://www.swst.org/teach/teach2/properties2.pdf>
- Sousa, A., 2010, APLICAÇÃO DE ARGAMASSAS LEVES DE REBOCO E ASSENTAMENTO EM ALVENARIAS, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia do Porto.
Recolhido em 11 de Julho de 2012 de:
<http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59634/1/000141453.pdf>
- Torgal, F. & Jalali, S. 2009, Betões armados com fibras vegetais. Uma ilusão ou uma opção a explorar?, in Betão nº22,
Recolhido em 3 de Janeiro de 2012 de
<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/10449/1/Bet%C3%A3o%2022.pdf>
- Ventura, A. 2009, Os Compósitos e a sua aplicação na reabilitação de estruturas metálicas, Ciência & Tecnologia dos Materiais, v.21, n3-4, Lisboa
Recolhido em 31 de Agosto de 2012 de:
http://www.scielo.oces.mctes.pt/scielo.php?pid=S0870-83122009000200003&script=sci_arttext
- VIROC, 2010, Soluções contemporâneas: Catálogo 2010,
Retirado em 28 de Novembro de 2011 de:
http://www.viroc.pt/viroc/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=1%3Acatalogo&Itemid=13&lang=pt
- Wei, Y. M., Zhou, Y. G., Tomita, B. 2000a, Hydratation Behavior of wood-cement-based composite I: evaluation of wood species effects on coMPatibility and strength with ordinary Portland cement, in Wood Science 46:(296-302), The Japan Wood Research Society
Recolhido em 3 de Janeiro de 2012, de

<http://www.springerlink.com/content/h8x8078213p47672/fulltext.pdf>

- Wei, Y. M., Zhou, Y. G., Tomita, B. 2000b, Study of hydration behavior of wood cement-bonded compositeII: Effect of chemical additives on the hydration characteristics and strengths of wood-cement composites , in Wood Science 46:(444-451), The Japan Wood Research Society
Recolhido em 3 de Janeiro de 2012, de
<http://www.springerlink.com/content/q76101q527824845/fulltext.pdf>

Anexos

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I- Resultados de Ensaio de Granulometria do Serrim.....	
ANEXO II – Resultados Determinação da Massa Volúmica do Serrim.....	
Anexo III- Resultados de Ensaio de Granulometria da Areia	
Anexo IV- Registo de Dados Fase 1	
Anexo V- Registo de Dados Fase 2	
Anexos VI- Registo de Dados Fase 3.....	
Anexos VII- Fichas Técnicas do Cimento e da Cal	

Anexo I- Resultados de Ensaio de Granulometria do Serrim

ANEXO II – Resultados Determinação da Massa Volúmica do Serrim

Anexo III- Resultados de Ensaio de Granulometria da Areia

Anexo IV- Registo de Dados Fase 1

Anexo V- Registo de Dados Fase 2

Anexos VI- Registo de Dados Fase 3

Anexos VII- Fichas técnicas do Cimento e Cal

